

太湖地区两种稻麦轮作制中 营养元素的循环*

Ⅱ. 常规稻田生态系统中大量元素的循环状况

秦祖平** 徐 琪 熊 毅

(中国科学院南京土壤研究所)

摘 要

本文在太湖流域研究了平原地区三个不同试验点上小麦-水稻和元麦-水稻-水稻两种轮作方式下常规稻田生态系统中氮、磷、钾、钙、镁等五种大量营养元素的循环及表现平衡状况。所考虑的输入途径有施肥、灌溉、降雨、播种及移栽;输出途径有作物收获、田面排水和渗漏淋溶。此外,氮素的输出还包括了氮挥发及硝化与反硝化脱氮。三试验点两种熟制的稻田生态系统中各元素的表现平衡状况基本一致,在土壤养分库中磷、氮有盈余,钾、镁和钙有亏损。

关键词:太湖地区,稻田生态系统,氮,磷,钾,钙,镁,循环。

稻田生态系统中营养元素的循环与平衡逐渐受到学者们的注意。这一领域的研究报告已有不少公开发表^[1-8],主要集中于氮、磷、钾三要素的研究。与旱地农业生态系统相较,稻田生态系统中养分循环的研究相对较少。我国南方的稻田生态系统为高度集约型,人们已普遍感到土壤肥力衰退问题的严重。养分循环的研究,将有助于从一个侧面理解这一复杂问题。笔者在太湖地区进行田间试验,试图研究采用常规施肥制度的稻麦两熟制和稻稻麦三熟制两类稻田生态系统中氮、磷、钾、钙和镁五种营养元素的循环状况,以期为建立合理的养分归还体系及良好的养分循环状况提供基础资料。

一、材料与方法

1. 基本设计

稻田生态系统的空间界面按下述方法进行划分:侧向边界取四面田埂与稻田基本平面的垂直交界面,上边界为作物顶冠所能达到的最高点所在的与田面平行的水平面,高出田面的高度一般不大于两米;下边界为田面以下一米处与田面平行的水平面,作物根系主要分布于这一土层内。系统的生物组成部分包括麦类和水稻作物、土壤微生物、土壤动物、农田杂草

* 本文为第一作者硕士研究生期间的工作。承蒙本所刘元昌、钱钦文、胡纪常等同志和常熟市辛庄乡农科站、无锡县东亭乡东亭村及武进县农科所大力帮助,谨致谢忱。

**现执教于武汉大学环境科学系。

本文于1986年7月8日收到。

等。物理环境组成部分主要为土壤,滞留于田面和土壤中的水以及系统边界内的空气。本研究着重考虑稳定组分——土壤以及对其养分库现存量有影响的主要输入、输出过程。

本研究的田间试验分别置于常熟市辛庄乡农技站、无锡县东亭乡东亭村和武进县农科所(武进运村)三试验点。试验点的基本情况、试验设计及供试作物品种已有报告^[10]。本文中常规稻田生态系统指采用通常施肥制度的当地肥处理,各试验点两种熟制中各季作物的施肥情况见表1。不同试验点同一熟制的肥料施用略有不同,这是出于使各试验点对相应区域有较高代表性的考虑。

表 1 田间试验常规系统的肥料施用

Table 1 Fertilizer and manure application in normal field-systems

试验点	作物	尿 素 (kg·ha ⁻¹)	普 钙 (kg·ha ⁻¹)	猪 粪 (kg·ha ⁻¹)
常 熟	元麦/小麦	375	300	7500
	前季稻/单季稻	337.5	—**	7500
	后季稻	262.5	—	—
无 锡	元麦/小麦	375	300	7500
	前季稻/单季稻*	337.5	150	7500
	后季稻	300	—	—
武 进	元麦/小麦	300	300	7500
	前季稻/单季稻	300	—	7500
	后季稻	262.5	—	—

* 无锡点单季稻的尿素用量375公斤·公顷⁻¹

**无肥料施用

2. 养分流的计量与样品的采集

各途径中的养分流量由相应的物质转移量及其养分含量估算。尿素因其化学组成较为稳定,其含氮量以46%计。普通过磷酸钙及猪粪的分析样于施用前采集。

试验期间,各点降雨量分别为常熟点1080毫米,无锡点1045毫米,武进点1125毫米。雨水分析样采用季度混合样。植稻期稻田灌溉、排水及渗漏的水量,根据作物的腾发需水量^[11]和土壤平均渗滤速率(常熟点约3毫米·天⁻¹,无锡点约8毫米·天⁻¹,武进点约5毫米·天⁻¹),按稻田水量平衡方程估算。灌溉水、外流水(即田面排水)和渗漏水均为一定时期的混合样。灌溉水共采集了

六个分析样,时期为1983年6—10月。外流水和渗漏水采样时期为4—10月,采集样品数为6。灌溉水为注入试验田的水样,外流水为试验区排水沟的水样。渗漏水的采集借助于采样筒。该筒为一直径20厘米、埋深100厘米,底端有孔的园柱状塑料管。

小麦和元麦的种子用量为187.5公斤·公顷⁻¹(以风干重计)。秧苗生物量为单位面积苗数和每百株秧苗的平均干重的乘积。种子和秧苗分析样在播种或移栽时采集。

3. 氮难测定损失的估算

氮素循环为复杂的完全型循环,生物固氮、氨挥发、硝化及反硝化脱氮等亦对氮素的输入与输出有重要贡献。一般认为大量施用氮肥时,非共生固氮量甚微,故本文对这部分氮素输入忽略未计。氨挥发、硝化和反硝化脱氮难以在田间条件下测定。根据一些研究报告^[9,12,14],大量施用氮肥时,稻田气态氮的损失量占施氮量的20—60%。这里施用的氮肥为尿素和猪粪,其挥发及硝化、反硝化作用较弱,故以施氮量的30%计算气态氮损失量。

4. 样品分析

水样中全氮含量的分析过程主要为 1) 酸性条件下以亚铁还原硝态氮;2) 浓缩后加浓硫酸和混合催化剂消化有机氮;3) 用半微量蒸馏法获取馏出液;4) 以靛酚蓝法作比色测定^[15,16]。水样中钾含量用火焰光度法测定;磷、钙、镁用等离子体发射光谱法(DCP)

* Yoshida & Alexander (1970) 发现硝化作用过程中亦有气态氮素损失。

表 2 种子和幼苗的养分摄入量

Table 2 Input of nutrients by seed and seedling

地点	熟制	N	P	K	Ca	Mg
(kg · ha ⁻¹)						
常熟	两熟制	5.11	0.77	1.85	0.59	0.50
	三熟制	39.4	5.03	26.7	7.21	5.02
无锡	两熟制	4.59	0.81	0.99	0.09	0.25
	三熟制	13.3	2.01	6.44	1.98	1.21
武进	两熟制	8.85	1.72	6.12	0.60	0.65
	三熟制	24.7	3.70	15.8	2.22	1.95

测定。

猪粪、种子和幼苗中氮分析采用浓硫酸-重铬酸钾法^[17];磷、钾、钙、镁分析采用硝酸-硫酸-高氯酸消化^[17],等离子体发射光谱法(DCP)测定。普通过磷酸钙中有效磷测定采用钒钼黄比色法^[17],而其中钙的含量参照有关文献定为20Ca%^[18-20]。

二、结果与讨论

1. 养分的输入

(1) 种子和幼苗对养分的输入 麦类作物的初始输入形式为种子,而水稻则为秧苗。三试验点两种熟制中作物初始形态输入的养分量见表2。三熟制中作物的种子和幼苗对五种元素的输入量均大于两熟制。这与后季稻中秧苗对养分的输入量较大有关,就单季作物而言,后季稻秧苗的秧龄较长,生物量较大,在几种作物中对养分的输入量最大。从种子和幼苗对不同元素的绝对携入量看,氮素的输入量最高,钾次之,磷素居三,其余二元素较为接近。无锡点因采用温室育秧,故两种熟制中作物初始输入的养分量在三试验点中最低。常熟点与之不同,后季稻秧龄较长,其苗种输入量相对较大。刘元昌和徐琪(1984)报道太湖地区麦类、水稻、油菜及蚕豆等作物的种苗对氮、磷、钾三元素的年输入量分别为12.5, 2.25, 2.18公斤·公顷⁻¹,这些数据与无锡和武进两试验点的平均养分输入量十分接近。与其他养分输入途径相比,种子和幼苗对养分的输入规模相对要小。

表 3 常规稻田生态系统中肥料养分输入量

Table 3 Nutrient Input by Fertilization in the Paddy Field Ecosystems

试验点	熟制	N	P	K	Ca	Mg
(kg · ha ⁻¹)						
常熟	两熟制	371	39.9	27.4	89.4	16.2
	三熟制	492	39.9	27.4	89.4	16.2
无锡	两熟制	417	70.1	44.3	138	20.9
	三熟制	538	70.1	44.3	138	20.9
武进	两熟制	382	103	51.1	91.7	60.1
	三熟制	514	115	59.9	102	50.6

(2) 肥料输入 表3显示了三种肥料对两种熟制中土壤养分库的元素输入情况。它表明五种元素中氮的输入量最高,其次为钙和磷,镁最低。

有机肥在两种熟制中施用的数量及次数相同,三熟制后季稻中不施用有机肥和磷肥(表1),故而出现了两个试验点中肥料对磷、钾、钙、镁输入量完全一致的情形。三试验点间养分随肥料输入量存在差异的原因,一是各点肥料用量没有统一,二是有机肥成分变化较大。太湖地区另一研究指出,肥料

氮、磷、钾的年输入量为453, 43.6, 114公斤·公顷⁻¹^[4]。Yatazawa估计日本稻田中肥料输入上述三要素的数量分别为116, 47.6和87公斤·公顷⁻¹^[18]。本研究中肥料钾的输入量低于前两者,氮素的输入量高于日本,磷素的输入量接近或高于前两者。

(3) 降雨和灌溉 稻田水循环过程对生态系统养分输入和输出有较大贡献的途径有灌溉、降雨、外排和淋失。前两者输入养分,后两者输出养分。降雨和灌溉对五种大量元素的输入量示于表4。灌溉对钙和镁的输入量较高,降雨对钙和氮的输入量较高,两者对磷素的

表 4 灌溉和降雨对养分的输入
Table 4 Input of nutrients by irrigation
and precipitation

地点	水流	熟制	N	P	K (kg·ha ⁻¹)	Ca	Mg
常熟	灌溉	两熟制	7.37	0.34	27.0	387	113
		三熟制	10.2	0.47	37.3	548	156
	降雨		16.8	—*	4.06	40.9	7.4
无锡	灌溉	两熟制	8.92	0.038	17.4	227	56.05
		三熟制	12.8	0.054	25.0	327	80.4
	降雨		12.0	—	3.44	44.3	1.2
武进	灌溉	两熟制	3.06	3.12	26.3	184	48.9
		三熟制	4.22	4.31	36.3	253	67.3
	降雨		25.9	0.59	8.38	27.7	2.10

* “—”表示痕量

钾量较高,雨水输入的氮素较高,但在日本得到的结果却是灌溉对三元素的输入量均大于降雨^[10]。

2. 养分的输出

(1) 作物收获移出 我国耕种农田生态系统中的作物收获物,除包括经济产量所涉及的籽粒、纤维等以外,还包括秸秆之类的充作燃料的生物产品。本研究中常规稻田生态系统的生物物质开放度大部分在80%以上^[10]五种元素的收获移出量见于表5。一般情形下,除

表 5 常规稻田生态系统中收获物的养分移出量
Table 5 Removal of Nutrients by Crop
Harvest in the Ecosystems

试验点	熟制	N	P	K (kg·ha ⁻¹)	Ca	Mg
常熟	两熟制	198.7	32.9	177.1	31.3	22.2
	三熟制	207.5	29.1	99.4	33.9	22.6
无锡	两熟制	254.9	41.6	139.5	25.9	21.9
	三熟制	260.2	47.8	125.2	42.3	30.9
武进	两熟制	183.0	48.6	149.6	27.9	27.1
	三熟制	286.4	55.3	180.2	45.7	32.6

* 摘自秦祖平等, 1988

中渗漏淋溶导致的养分输出量要大于田面排水(表6)。三试验点中,两熟制系统水循环输出养分量要小于三熟制系统。表6还示出,通常情况下,淋溶对养分的输出要大于排水。这与文献[9]得到的趋势一致,但与文献[4]提出的趋势有一定的出入。

输入量均较低。三试验点降雨对氮素的总输入量与Rothamsted等地(英国,17公斤·公顷⁻¹·年⁻¹^[11])以及浙江金华地区(17—23公斤·公顷⁻¹·年⁻¹^[12])的无机氮量相近。可见,降雨对氮素的输入形式主要为无机态。雨水对太湖地区另一些区域的磷、钾输入量分别为0.12—2.55和7.2—18.8公斤·公顷⁻¹·年⁻¹^[14,22],在日本,雨水带入稻田的磷、钾量分别为0.2和4公斤·公顷⁻¹·年⁻¹。本研究中雨水磷、钾的输入量接近上述报道的低限范围。有人总结过世界上一些集约农田生态系统中灌溉对氮素的输入量*。与那些系统相比,太湖地区的灌溉输入氮量较低。在太湖地区,灌溉输入的磷、

钾外,两熟制中其他四种元素的收获物输出量要小于三熟制系统。氮、磷、钾的作物收获移出量与该地区另一研究结果^[4]较为接近,但与日本稻田相较,氮和磷的移出量分别要高1—2倍和0.5—1.5倍,钾的输出量略为接近一些(日本单季水稻收获物移钾量达131公斤·公顷⁻¹^[10])。

(2) 田面排水和渗漏淋溶 渗漏淋溶和田面排水是水循环对稻田养分输出的重要途径。渗漏和排水对五种大量元素中不同元素的输出量变化趋势,与灌溉对养分输入量的变化趋势基本一致。但同一稻田生态系统

* 秦祖平, 1985, 太湖平原两种稻麦轮作制中矿质养分的循环及土壤性状的变化, 硕士论文, 中国科学院南京土壤研究所, 第10页。

表 6 淋溶和排水对养分的输出
Table 6 Output of nutrients by leaching
and surface drainage

地点	熟制	水流	N	P	K (kg·ha ⁻¹)	Ca	Mg
常熟	两熟制	淋溶	2.14	0.35	5.88	391	95.2
		排水	3.07	0.28	6.18	123	43.9
	三熟制	淋溶	3.28	0.53	9.00	598	146
		排水	4.17	0.38	8.39	168	59.6
无锡	两熟制	淋溶	1.44	—*	9.50	302	64.1
		排水	0.50	0.012	1.33	73.1	26.6
	三熟制	淋溶	1.97	—	13.0	416	88.1
		排水	0.99	0.024	2.64	145	52.8
武进	两熟制	淋溶	2.00	0.39	16.6	277	86.8
		排水	1.34	0.32	6.70	84.0	22.9
	三熟制	淋溶	2.56	0.50	21.2	354	111
		排水	1.82	0.43	9.10	114	31.1

* “—”表示痕量

3. 养分平衡状况

农田生态系统中输入、输出途径对土壤库养分现存量的影响,一般以养分库的亏盈量或亏盈程度表示。亏盈量为总输入量与总输出量之差,即

$$B_k = \sum_{i=1}^m I_i - \sum_{j=1}^n O_j$$

此处 I_i 为某输入途径的养分输入量, O_j 为某输出途径的养分输出量, m 和 n 分别为养分的输入途径数和输出途径数, B_k 为平衡值。当 $B_k > 0$ 时,某元素在土壤养分库有盈余,反之亦反。

有的学者以养分产投比或输出/输入比来考察系统的养分输出效率或平衡状况。但陆地生态系统的支持子系统之一——土壤系统为可更新资源,为保证其永续利用,应对其

加以合理的保护和改善。土壤养分库营元素足够大的现存量是使生态系统具备良好的初级生产力的重要因素之一。因此,从长远利益出发,对土壤应是保持或改善,而不是耗竭。故本文采用了顺向指标— I/O 比作为养分平衡程度的考察项目。比 I/O 由下式确定

$$I/O \text{ 比} = \sum_{i=1}^m I_i / \sum_{j=1}^n O_j$$

可见, I/O 比就是输入/输出比。 I/O 比的计算,可以为不同营养元素平衡程度的比较提供方便。因为不同元素在生态系统内的转移量间存在较大的差别,若仅使用平衡值,即绝对亏盈量很难直观地反映不同元素之间的亏盈程度的差异。

由于本研究所考虑的养分输入、输出途径为几种主要的,它们可以反映系统的总变化趋势。但为严格计,这里将养分在土壤库的平衡状况称为表观平衡状况。五种养分的输入、输出量柱状比较见图1。由该图可知,三试点中氮和磷的输入柱高于相应的输出柱(图1a,b)钾、钙和镁的输出柱高于对应的输入柱(图1c,图1e,d),亦即土壤养分库中磷、氮发生盈余,钾、镁、钙发生亏缺。由各元素的输入、输出柱构成,可以这样认为,氮、磷的主要输入途径为施肥,钾的输入主要是施肥和灌溉,钙和镁的输入主要是灌溉;氮、磷、钾的主要输出途径是作物收获,钙、镁则主要经由淋溶输出。

三试验点两种熟制系统养分的表观平衡状况十分一致(表7),只是绝对亏盈量稍有差异。由表7可以看出,氮和磷的盈余量以及钾的亏缺量都相当可观。这种变化趋势与太湖地区另三项研究的结果基本一致^[3-5]。但亏盈数量略有变化,本研究中钾的亏损量为-22—-129公斤·公顷⁻¹,而上述研究的结果为-22—-86公斤·公顷⁻¹。同样,本研究中氮和磷的盈余量分别为+60—+196和+7.5—+67公斤·公顷⁻¹而另外的结果分别为+16—+120和+8.8—+38公斤·公顷⁻¹。Yatazawa报道日本稻田系统中氮、磷、钾的土壤库平衡

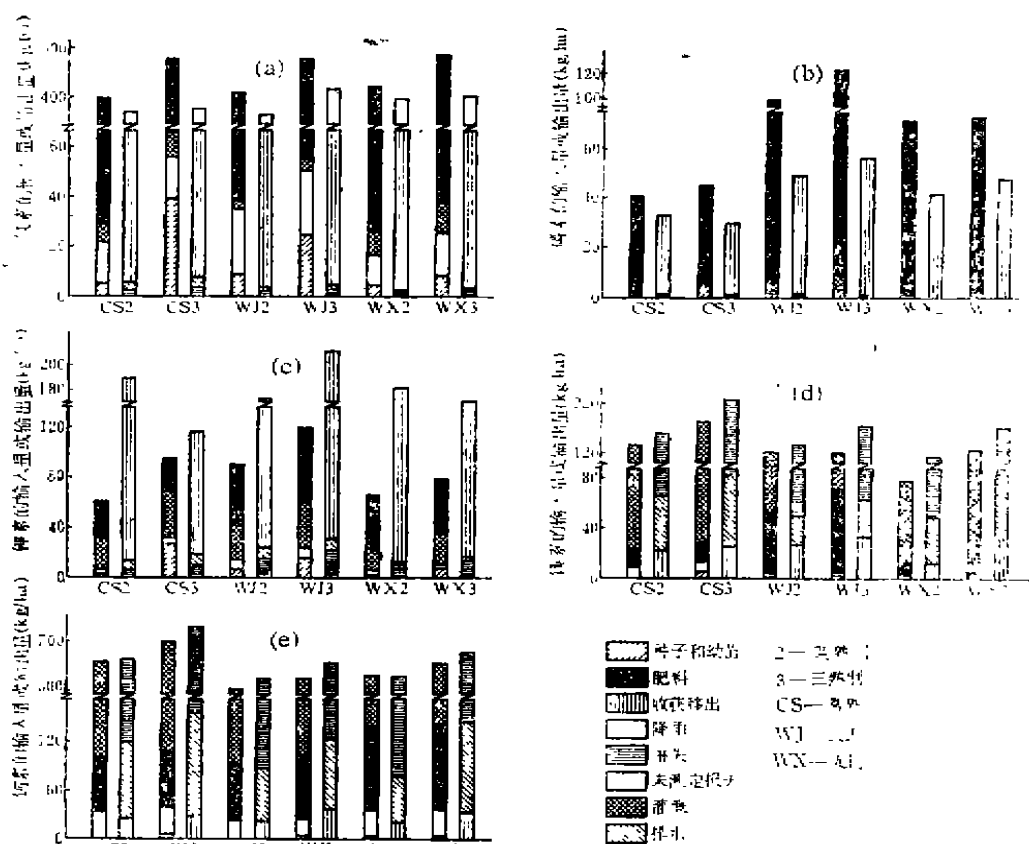


图 1 五种营养元素输入输出量的比较图

Figure 1 Diagram of comparison of Input and Output of five nutrients

表 7 常规稻田生态系统中养分的表现平衡状况

Table 7 Apparent Balances of Five Nutrients in the Normal Paddy Field Ecosystems

试验点	熟制	N	P	K (kg · ha ⁻¹)	Ca	Mg
常熟	两熟制	+85	-7.5	-129	-18	+24
	三熟制	+196	+15.4	-22	-114	-44
无锡	两熟制	+60	+29.4	-84	+8	-35
	三熟制	+152	+24.4	-62	-82	-68
武进	两熟制	+119	+60	-81	-85	-35
	三熟制	+124	+87	-90	-129	-53

值依次为-9, +25和-36公斤·公顷⁻¹ [9]。可见, 注重氮、磷肥料投入的集约稻田生态系统中, 一方面氮和磷有较高量的盈余, 另一方面钾发生数量较大的亏损。这样的养分还归体系已经持续了相当长的时间, 但人们关于它对农田生态系统初级生产力的长期影响还知之甚少。同样, 人们对于钙、镁及其他一些营养元素在土壤库水平的降低也理解不多。

图 2 为养分亏盈程度——I/O 比的直观表示。三熟制中氮和钾的 I/O 比一般要高于

两熟制系统, 而钙和镁二元素的情形正好与之相反, 磷素的 I/O 比值在两种熟制间基本上趋于相互接近。氮和磷的 I/O 比多在 1.0 以上, 而其三元素则小于或接近于 1.0。磷素的盈余程度最大, 而钾的亏缺程度最大。作者计算了刘元昌和徐琪 (1984) 及 Yatazawa (1978)

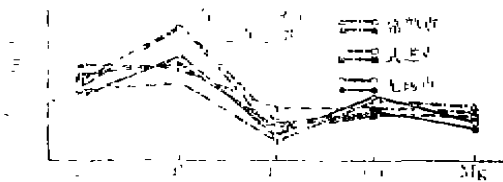


图2 五种营养元素的输入输出比 (I/O)

Figure 2 The input/output ratios of five nutrients

投入及收获移出均存在一定的缺陷。磷和氮可能因过量投入而经济效益较低,钾可能因过度消耗而导致植物生长因缺钾而受阻。

所研究系统的 I/O 比, 两者的氮素 I/O 比分别为 1.13 和 0.95; 磷素分别为 1.21 和 2.11; 钾素分别为 0.87 和 0.77。可见, 这两种系统中磷素的盈余程度与本研究接近, 氮的盈余程度稍低, 钾的亏缺程度亦稍低。虽然从目前已有的资料尚不能确定 I/O 比处于何种变化范围才有利于农田初级生产力的保持或提高, 但可以推测本研究中磷、钾和氮的肥料

三、结 语

根据本文的主要结果, 关于所研究的常规稻田生态系统, 可以得到如下初步结论:

1. 五种营养元素在稻麦两熟制系统和稻稻麦三熟制系统中循环状况及表观平衡状况是基本一致的。土壤养分库中, 磷和氮表现为较高度度的盈余, 其 I/O 分别可达 1.2—2.2 和 1.2—1.6; 钾、镁和钙则表现为程度略异的亏缺, 其 I/O 比分别为 0.32—0.82, 0.60—0.85 和 0.75—1.0。但钾在两熟制系统中的亏缺程度略大于三熟制系统, 而钙和镁的亏缺程度的变化与之相反。氮的盈余程度在三熟制中大于两熟制, 磷在不同试验点间的情形略有不同。

2. 五种营养元素的主要输入、输出途径有所不同。磷和氮的输入主要源自施肥, 输出主要经由作物收获; 钙和镁的输入主要源自灌溉, 输出主要经由淋溶; 钾的输入源自灌溉和施肥, 输出的主要途径与氮和磷相同。

参 考 文 献

- [1] 丁瑞兴、刘德辉、孙玉华、徐建伟, 1987, 稻麦轮作多年农田杂草对小麦生长及养分平衡的影响。生态学杂志, 6(4): 9—13。
- [2] 黄振雄、梁考衍、王洪耀, 1981, 广东中山县耕地的养分平衡及存在的问题。土壤通报, (3): 24—26。
- [3] 江苏太湖地区农田生态协作研究组, 1983, 江苏太湖地区几种种植制度的物质循环状况。土壤通报, (3): 1—5。
- [4] 刘元昌、徐琪, 1984, 江苏省太湖地区养分平衡状况的初步探讨。生态学杂志, (3): 12—16。
- [5] 王方桃, 1985, 上海郊区农田生态系统中的养分循环和施肥。生态学杂志, (6): 26—28。
- [6] Ram, P., R.N. Prasad, 1983. Yield responses to fertilizer potassium in a potato-rice crop sequence. J. Indian Soc. Soil Sci., 31: 502—505。
- [7] Watanabe, I., E.T. Craswell, A.A. App, 1981, Nitrogen cycling in wetland rice field in South-East and East Asia. In: R. Weiselaar, J.R. Simpson & T. Rosswall, (eds), Nitrogen Cycling in South-East Asian Wet Monsoonal Ecosystems. Australian Academy of Science, Canberra. pp. 4—17。
- [8] Weiselaar, R., 1981. Nitrogen inputs and outputs of an unfertilized paddy field. -In: F.E. Clark, & T. Rosswall, (eds) Terrestrial Nitrogen Cycles. Ecol. Bull. (Stockholm) 33: 573—583。
- [9] Yatazawa, M., 1978. Agro-ecosystems in Japan. -In: M.J. Frissel, (ed), Cycling of Nutrients in Agricultural Ecosystems. Elsevier, Amsterdam. pp. 167—170。
- [10] 李祖平、徐琪、熊毅, 1988, 太湖地区两种稻麦轮作制中营养元素的循环 I. 稻麦作物内养分的移出与残留。生态学报, 8(1): 10—17。
- [11] 丁颖(主编), 1961, 《中国水稻栽培学》。第 407—450 页, 农业出版社。
- [12] 浙江农业大学等(编), 1981, 《实用水稻栽培学》。第 231—252 页, 上海科学技术出版社。

- [13] 熊毅、徐琪、姚贤良、朱兆良, 1980, 耕作制对土壤肥力的影响。土壤学报, 17: 101—119。
- [14] Craswell, E.T. & P.L.G. Vlek, 1979. Fate of fertilizer nitrogen applied to wetland rice. In: *Nitrogen and Rice*. pp.175—192. Los Banos, Philippines: International Rice Research Institute.
- [15] Kempers, A.J. 1974. Determination of submicroquantities of ammonium and nitrates in soils with phenol, sodiumnitroprusside and hypochlorite. *Geoderma*, 12:201—206.
- [16] Nelson, D.W. 1975. Determination of total nitrogen in natural waters. *J. Environ. Qual.*, 4:465—486.
- [17] 中国科学院南京土壤研究所, 1978, 《土壤理化分析》。第311—375页, 上海科学技术出版社。
- [18] 高井康雄、早瀬達郎、熊沢喜久雄, 1980, 植物栄養。土壤肥料大事典。第1134页(日文), 養賢堂, 东京。
- [19] The Fertilizer Institute, 1976, *The Fertilizer Handbook*. The Fertilizer Institute, Washington. pp.68—71.
- [20] IFDC (International Fertilizer Development Centre), 1979. *Fertilizer Manual*. p. 212, International Fertilizer Development Centre, Alabama.
- [21] Cook, G.W., A review of effects of agriculture on the chemical composition and quality of surface and underground waters. In: *Ministry of Agri. Fish. & Food, Techn. Bull. 32, Agriculture and Water Quality*. pp. 5—57.
- [22] 鲁如坤、史陶钧, 1979, 金华地区降雨中养分含量的初步研究。土壤学报, 16:81—84。

NUTRIENT CYCLING IN WHEAT-RICE AND BARLEY- -RICE-RICE ROTATION SYSTEMS OF THE TAI LAKE REGION. I. CYCLING OF FIVE MAJOR NUTRIENTS IN NORMAL PADDY FIELD ECOSYSTEMS

Qin Zuping Xu Qi Y. Hseung

(Nanjing Institute of Soil Science, Academia Sinica)

The cycles and apparent balances (ABs) of N, P, K, Ca and Mg were studied in two kinds of normal paddy field ecosystems with the crop rotations in both the wheat-rice sequence and the barley-rice-rice sequence. The research was based upon field experiments on three critical types of paddy soils in the Tai Lake region. The transportation of concern was inputs through fertilization, irrigation, precipitation, sowing and transplantation, and outputs by crop removal, surface drainage and leaching. Nitrogen output by volatilization of ammonia, nitrification and denitrification was taken into account in addition to the outputs above. The ABs of N, P, K, Ca and Mg in two crops systems on the soils during the period of experiment were +60—+120, +7.5—+60, -80—-130, -85—+8 and -24—-35 kg·ha⁻¹ (as element), respectively. Their input/output ratios (I/O ratios) in the same sequence were, 1.2—1.4, 1.2—2.2, 0.32—0.53, 0.78—1.0, and 0.70—0.85. The ABs and I/O ratios of the same nutrient in three crops systems were +120—+200, +15—+60, -20—-90, -90—-130, -45—-65 kg·ha⁻¹ and 1.3—1.5, 1.5—2.2, 0.53—0.82, 0.75—0.86, 0.60—0.81, respectively. The ABs of a given nutrient in two types of systems at all sites were similar: the balances of P and N were positive, while those of K, Mg and Ca were negative.

Key words: Tai Lake region, paddy field ecosystems, nitrogen, phosphorus, potassium, calcium, magnesium, nutrient cycles.