

太湖流域主要生态区中土壤组合的 性态变异规律*

沈思渊

徐琪

熊毅

(中国科学院南京土壤研究所)

摘 要

本研究从区域土壤生态系统的观点出发,选择太湖流域二个主要生态区的各一个代表地段作为生态样区。通过代表剖面的理化和矿物分析,研究了土壤组合的特点,并以方格-随机法布置观测和采样点,用趋势面分析了土壤组合内的性态变异规律。表明圩区土壤组合深受人为堆迭层的影响,趋于均一化;平原区土壤组合由于人为耕作等影响,土壤性态发生明显变异。两个组合中有机质和全氮含量随地形增高而下降,全磷含量则有在居民点附近富集的趋势。在目前管理水平下,圩区水稻土肥力水平差异小,其上作物产量的差异不明显,作物产量由管理措施的好坏而决定;平原区土壤组合中,肥力越高的土壤,作物产量的平均值越高,而变异系数越小。由此说明,土壤组合的性态变异特点,既受自然因素和人为活动的影响,又影响作物生长,是土壤生态系统水平结构的基础。

太湖流域是我国高产地区之一,耕地中90%以上为水稻土^[6],从五十年代以来,已进行过大量的研究^[1,5,6,8,32],并作出初步的土壤生态分区^[7]。土壤生态系统研究的一个重要方面是土壤性态与环境关系的研究^[10,23],在各种环境因素的影响下,土壤性态具有很大的变异性^[15-17,30,31],用定量方法研究其变异规律,可以更客观地划分土壤生态系统的各级单位^[22,24,26,28]。水稻土深受人为活动的影响,形成了有特色的微域分布^[6,11,25]。分析其土壤类型、土壤组合特点以及与作物生长的关系,找出其性态变异规律,可进一步探索区域土壤生态系统的结构^[12],为合理地进行作物布局和土壤生态分区提供科学依据。

一、试验材料与分析方法

1. 材料:经过反复比较,在平原区和圩区各选一个代表性地段作为样区。用经纬仪测量每个地段的田块界线及其相对高程,在春季(3—4月)以方格随机法(或称分层随机法)共钻孔34个(图1,2),观察土壤形态和水分状况,并采集渗育层上部(30—40厘米)土样。同时依据土壤微域分布,分别采集剖面,并进行作物测产和植株某些营养元素的分析。

2. 方法:参见《土壤理化分析》和《土壤农业化学常规分析方法》。

* 本文系沈思渊硕士论文的一部分。本所生态组、技术室和物化室等亦协助本项工作,调查采样过程中得到吴县农业局及北桥、金山乡农科站的帮助,在此一并致谢。

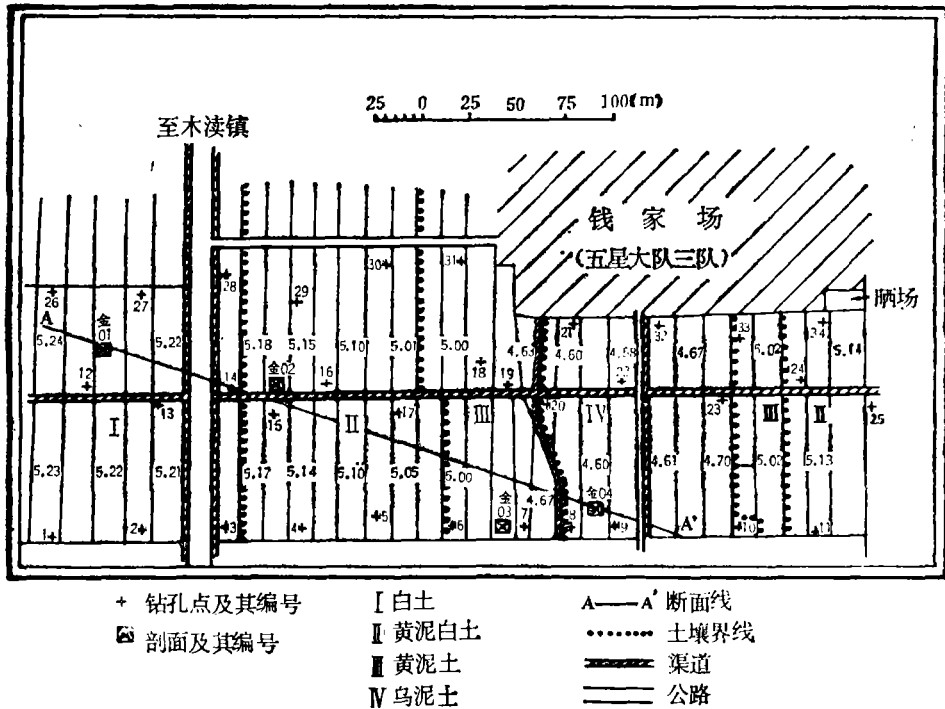


图1 平原代表地段地形和土壤图

Fig. 1 The map of soils and fields of the representative site of the plain area

二、研究结果与讨论

(一) 土壤组合类型

太湖流域虽然是一个完整的农业生态区,但区域内部也有一定差异,其中平原和圩区是二个主要的水稻土生态分区^[7]。

平原区位于太湖北部和东部,面积约 5000 平方公里,按地形部位可分为高平田、平田和低平田三类^[6]。现以吴县金山乡钱家场附近约 430×160 米的地段作为代表(图 1)。其面积约 120 亩,相对高差 0.6 米,土壤母质为黄土状物质,主要土壤类型有滞水水稻土中的白土与黄泥白土、爽水水稻土中的黄泥土和囊水水稻土中的乌泥土四个土种,构成有代表性的平原区土壤组合。

圩区分布在太湖及其湖群四周的碟形洼地中,经长期大量施用河泥,垫高田面,分化出头进田、二进田和三进田^[6]。以吴县北桥乡农科站附近 670×300 米的区域作为本区的代表地段(图 2)。该区域为横爬圩的一部分,相对高差 1.2 米,面积约 300 亩,母质是湖积冲积物,上部为 40—80 厘米厚度的人为堆迭层,土壤组合由囊水水稻土中的乌黄泥土和乌栅土两个土种组成。在轮作制度方面,这两个地段均为稻麦两熟或稻稻麦三熟。

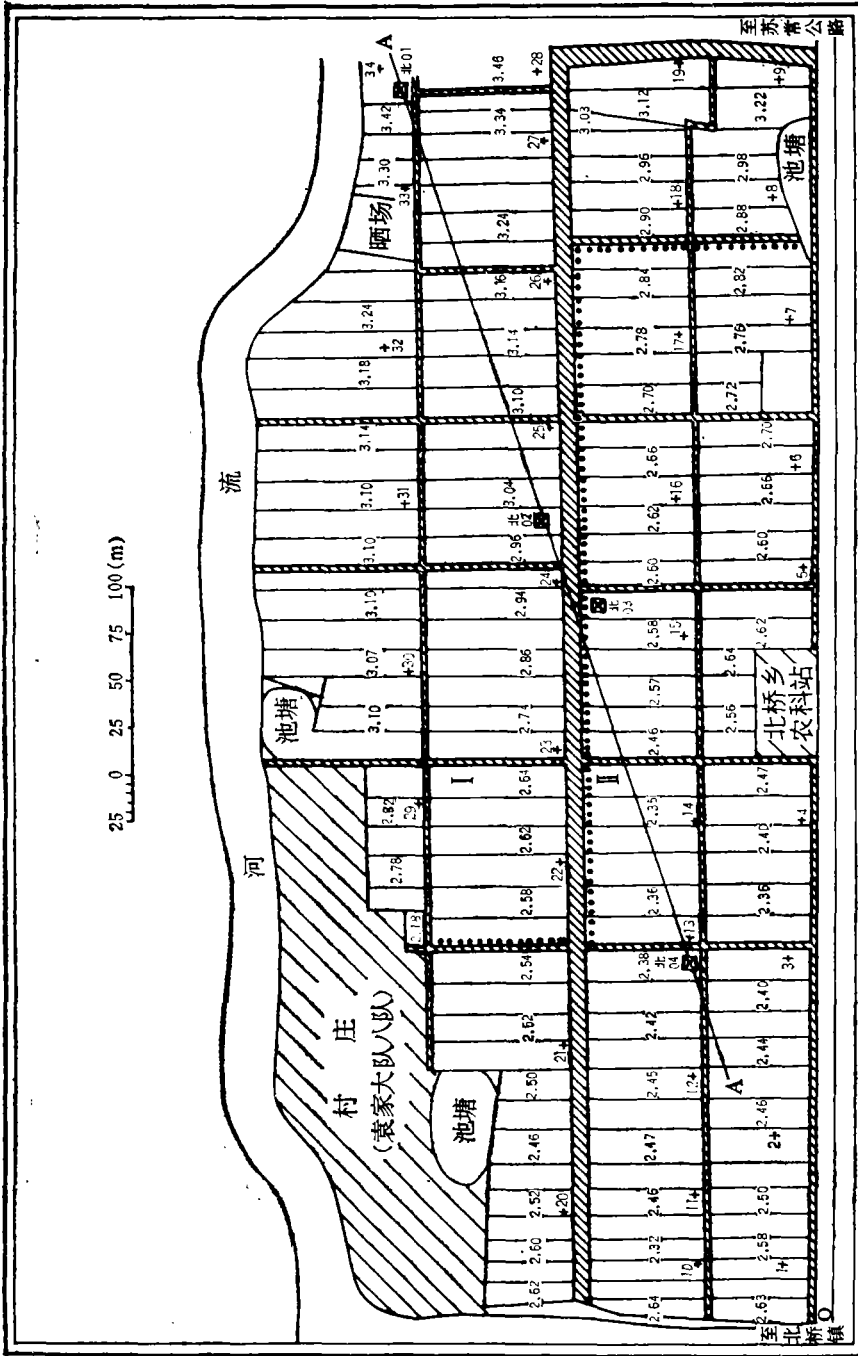


图 2 圩区代表地段地形和土壤图

Fig. 2 The map of soils and fields of the representative site of the polder area

表 1 平原土壤的理化性质

Table 1 Physical and chemical properties of paddy soils in the plain area

土壤及编号 Soil No.	层次 Horizon	采样深度 (cm) Depth	粘粒含量 ($<0.001\text{mm}$) (%) Clay content	pH (H_2O)	有机质 (%) O.M.	全氮 (%) Total N	P_2O_5 (%)	K_2O (%)	粘粒代换量 ($\text{me}/100\text{g}$) CEC of Clay	SiO_2 (%)	Al_2O_3 (%)	Fe_2O_3 (%)	MnO (%)
金 01 白土	A	0—15	17.0	5.5	2.97	0.170	0.051	1.70	45.3	71.6	12.7	4.75	0.041
	P	15—31	17.1	6.2	2.31	0.121	0.110	1.77	48.0	72.6	11.4	6.21	0.059
	WL	31—46	26.0	6.5	0.41	0.028	0.030	1.69	41.4	71.5	14.3	6.26	0.113
	Bg	46—75	38.2	6.6	0.46	0.033	0.059	2.15	—	63.5	17.6	7.12	0.268
	Cg	75—100	28.0	6.5	0.38	0.027	0.010	2.09	51.8	63.7	19.4	6.91	0.238
金 02 黄泥白土	A	0—19	20.9	5.5	2.93	0.171	0.066	1.65	46.1	60.4	13.8	5.23	0.061
	P	19—28	19.5	6.5	2.11	0.124	0.106	1.58	46.4	71.9	12.9	5.52	0.058
	WL	28—34	29.3	6.9	0.53	0.048	0.065	1.89	45.7	65.4	18.3	6.03	0.126
	Bg	34—61	38.1	7.0	0.57	0.047	0.030	2.09	—	63.6	17.6	7.01	0.108
	Cg	61—95	26.3	6.6	0.42	0.031	0.051	2.06	53.6	66.6	16.3	6.62	0.103
金 03 黄泥土	A	0—14	17.0	5.2	2.27	0.130	0.088	1.59	44.7	72.7	12.1	5.05	0.057
	P	14—28	16.4	6.2	1.63	0.096	0.060	1.68	47.3	74.0	11.4	5.35	0.065
	W	31—42	16.3	7.2	0.72	0.048	0.098	1.57	46.5	74.8	11.5	6.02	0.074
	Bg	42—87	19.8	7.1	0.67	0.048	0.030	1.69	48.3	74.2	12.3	5.24	0.038
金 04 乌泥土	A	0—16	20.0	5.0	3.01	0.185	0.100	1.71	37.0	72.5	11.7	5.62	0.056
	P	16—30	21.2	6.2	2.23	0.138	0.118	1.70	43.9	73.6	12.1	4.82	0.050
	W	30—40	20.4	6.5	0.84	0.053	0.021	1.66	42.1	74.0	12.8	4.64	0.107
	Dm	40—65	35.6	6.8	0.73	0.045	0.035	2.23	39.9	66.4	17.8	5.16	0.044
	BG	65—90	27.3	7.2	0.60	0.042	0.055	2.35	37.1	66.9	17.8	5.14	0.272

表 2 圩区土壤的理化性质
Table 2 Physical and chemical properties of paddy soils in the polder area

土壤及编号 Soil No.	层 次 Horizon	采样深度 (cm) Depth	粘粒含量 ($<0.001\text{mm}$) (%) Clay content	pH (H_2O)	有机质 (%) O.M.	全氮 (%) Total N	P_2O_5 (%)	K_2O (%)	粘粒代换量 ($\text{me}/100\text{g}$) CEC of Clay	SiO_2 (%)	Al_2O_3 (%)	Fe_2O_3 (%)	MnO (%)
北 01 乌黄泥土	A	0—16	24.3	6.2	3.32	0.180	0.103	2.17	52.3	65.8	15.5	5.80	0.077
	P	16—26	26.5	6.4	2.58	0.152	0.116	2.30	52.7	65.9	16.2	5.73	0.070
	W_1	33—55	25.3	6.6	1.19	0.064	0.118	2.20	56.1	66.4	16.4	5.77	0.079
	D	90—105	25.7	6.7	1.68	0.081	0.053	2.39	48.3	67.5	16.5	4.62	0.057
	G	110—130	29.4	6.6	1.28	0.057	0.122	2.70	40.1	66.7	17.1	5.12	0.060
北 02 乌黄泥土	A	0—15	21.8	5.3	3.12	0.167	0.221	2.33	—	66.6	15.7	5.67	0.066
	P	15—30	23.6	6.5	2.19	0.113	0.180	2.30	—	67.4	15.7	5.97	0.062
	W_1	44—54	27.1	6.2	1.62	0.086	0.197	2.25	—	67.3	16.2	5.43	0.100
	D	80—95	27.9	6.4	1.57	0.074	0.127	2.46	—	66.5	16.7	5.52	0.053
	G	105—115	27.4	6.4	0.72	0.039	0.165	2.90	—	66.9	16.6	5.58	0.077
北 03 乌棚土	A	0—16	24.2	5.8	3.54	0.193	0.209	2.26	—	65.1	16.1	5.62	0.061
	P	16—25	24.9	6.5	3.25	0.177	0.168	2.28	—	66.0	16.1	5.42	0.061
	W_1	25—34	27.3	6.4	2.78	0.155	0.141	2.22	—	66.0	16.1	5.62	0.050
	D	45—56	27.8	6.5	2.23	0.097	0.100	2.59	—	66.7	17.1	5.50	0.057
	G	56—73	21.4	6.5	0.81	0.041	0.198	2.93	—	66.4	16.8	5.46	0.089
北 04 乌棚土	A	0—14	25.0	6.0	2.76	0.159	0.148	2.43	49.8	66.1	15.7	5.60	0.069
	P	14—27	26.6	6.7	2.47	0.142	0.095	2.24	54.2	66.5	15.7	5.45	0.050
	W_1	27—47	26.0	6.7	1.10	0.062	0.072	2.34	52.2	67.4	16.2	5.66	0.080
	D	47—67	28.8	6.5	3.36	0.132	0.142	2.68	51.5	62.5	17.1	5.84	0.071
	G	67—75	23.6	6.6	0.80	0.043	0.108	2.97	39.4	64.8	17.2	5.85	0.087
	BG	75—100	14.3	7.4	0.73	0.041	0.133	2.63	46.7	65.8	14.6	6.51	0.163
	CG	100—120	13.3	7.4	0.72	0.036	0.128	2.62	50.8	66.9	14.2	5.48	0.111

表 3 各剖面相同层次中不同形态铁锰的均值和变异系数*

Table 3 The mean and coefficient of variation of iron and manganese in the same horizon of soils

地区 Area	氧化物 Oxide	土 层 Horizon	全 量 Total		游离态 Free		无定形态 Amorphous		游 离 度 Freedom		活 化 度 Activity		样本数 n
			M	CV%	M	CV%	M	CV%	M	CV%	M	CV%	
平 原 区 Plain	Fe ₂ O ₃	A	5.16	7.04	2.26	12.9	0.60	8.28	44.1	17.4	26.7	12.6	4
		P	5.48	10.5	2.58	16.9	0.46	18.8	47.4	7.39	17.9	12.7	
		W	5.74	12.9	2.95	19.3	0.20	88.1	51.1	8.36	7.01	83.1	
		Bg(G)	5.98	15.4	2.72	21.1	0.25	100.9	45.6	19.2	8.96	90.3	
圩 区 Polder	MnO	A	0.0537	16.1	0.0304	26.2	0.0162	35.4	56.6	18.8	52.4	11.1	4
		P	0.0578	10.5	0.0341	25.3	0.0165	35.6	60.2	15.4	47.9	18.5	
		W	0.105	21.3	0.0878	22.9	0.0551	38.5	84.9	11.6	62.6	35.1	
		Bg(G)	0.109	99.7	0.080	120	0.0314	110	60.2	47.5	46.9	33.9	
圩 区 Polder	Fe ₂ O ₃	A	5.67	1.59	2.03	6.62	0.81	20.6	35.8	5.01	39.6	17.4	4
		P	5.64	4.59	2.00	10.4	0.61	27.8	35.5	9.46	30.0	23.1	
		W	5.62	2.52	2.01	21.6	0.44	55.9	35.6	19.2	23.2	66.5	
		D	5.40	9.90	1.65	11.5	0.15	39.8	30.6	7.27	9.38	41.4	
圩 区 Polder	MnO	G	5.50	5.50	1.27	5.38	0.13	72.8	23.0	1.77	10.4	79.6	4
		A	0.0682	9.8	0.0425	18.4	0.0258	26.6	62.0	9.74	60.2	14.3	
		P	0.0609	13.4	0.0359	24.9	0.0198	26.6	58.4	13.0	55.6	8.04	
		W	0.0770	26.6	0.0481	36.0	0.0309	44.9	63.4	25.3	61.9	29.7	
圩 区 Polder	MnO	D	0.0594	13.4	0.035	21.5	0.0198	15.0	58.6	9.85	59.3	31.2	4
		G	0.0783	16.9	0.0472	28.8	0.0178	40.6	59.5	18.6	39.1	34.7	

* 各指标的意义及其计算参见[13]。

(二) 土壤基本性质

两个土壤组合的有机质和全氮含量相近(表 1,2)。各剖面从耕层向下全磷含量减少,而全钾含量增加。耕层 pH 值低于其下各层。平原区土壤中全钾量和阳离子代换量比圩区稍低。圩区土壤中铁的游离度在 30% 左右,平原区土壤则在 45% 左右(表 3),反映了两地母质与土壤发育程度的差异。与前人的结果相似^[1,2,4,18,32]。

在平原区土壤组合中,耕层 pH 值随地形下降而略有降低。白土的斑潜淀积层中粘粒含量较高,其它各层的粘粒都有所减少;渗育层游离铁含量较高,表层较低;活性铁的分布则反之;各种形态的锰都在 Bg 层淀积。黄泥白土与白土相似。黄泥土剖面质地均一,各层粘粒含量与耕层相近;铁的剖面分异很小,而渗育层和斑潜淀积层的锰含量都较高。乌泥土以埋藏腐泥层含粘粒最多,铁、锰都在渗育层淀积。各剖面中硅铝率、铝铁率、铁的活化度和粘粒代换量等变异程度的次序是:黄泥土<黄泥白土<乌泥土<白土。

平原区土壤的粘土矿物以云母和高岭石为主。白土的斑潜母质层有蒙脱石和蛭石,白色渗育层则未显示出这两种矿物的特征峰;黄泥白土的白色渗育层与白土相似,但各特征峰稍尖锐,说明结晶程度稍好。黄泥土与乌泥土的渗育层除 10 Å 峰稍弱外,X 射线衍射谱与白土的斑潜母质层相似,表明其中有蒙脱石和蛭石,而云母则受到脱钾作用^[1,2,16]的影响。乌泥土的潜育层则 10 Å 峰很强,表明云母含量多或结晶好。

圩区土壤组合中,水稻土的人为堆迭层之间性质差异不大(表 2),土壤质地均一,粘粒含量在 25% 左右。铁、锰的剖面分布形式基本相同,全铁和游离铁的剖面分异很小,活性铁的含量从表层向下逐渐减少;各种形态的锰在渗育层淀积。而其下的埋藏沼泽土中,各土层的质地变化大,埋藏腐泥层较粘,其它层次质地轻些;潜育淀积层中的铁、锰含量很高,形成了大量的土状结核。埋藏腐泥层上下的硅铝率和铝铁率也有所不同。而粘粒的代换量,除潜育层外,其它各层都较接近。

圩区土壤粘粒的 X 射线衍射谱显示都有 18.8 Å、14.2 Å、10 Å 和 7.1 Å 峰。各渗育层的衍射谱图形几乎一样,而埋藏斑潜淀积层的衍射谱中各个峰都要高些。由此可知,圩区的粘土矿物以云母、蒙脱石为主,并有高岭石和蛭石,但斑潜淀积层的矿物结晶程度比渗育层好。

进一步比较不同土壤组合中个体间的变异特点。各土壤剖面相同层次中不同形态铁锰的变异系数(表 3),圩区以渗育层和埋藏潜育层最大,平原区以渗育层和斑潜淀积层最大。说明渗育层等发生层受不同水分状况等因素的强烈影响。同一剖面中各种形态铁、锰的变异系数是按下列次序排列的:活性铁>游离铁>全铁,活性锰>游离锰>全锰。锰比铁更易活化迁移^[2],所以各种形态锰的变异大于相应形态的铁。铁的活化度在表层较高,说明人类耕种和有机质含量高有利于铁的活化^[19],锰的游离度和活化度最高值总是在剖面的中部,反映锰在此淋溶淀积较为活跃。

总之,平原区的四种土壤在理化和矿物性质上都存在一定的差异,铁锰的剖面分异明显,许多土壤性态同地形部位和水分状况有关。圩区的水稻土与其下的埋藏沼泽土有极大的差别,但水稻土之间在性态上差异很小,粘粒与铁锰的淋溶淀积亦较弱。

(三) 土壤组合的性态变异规律

在组合中土壤性态的变化规律,受自然与人为活动等因素的影响。在实地观测时,上

述因素与土壤性态变异的关系,因为相互重迭而不易发现其规律性变化,需借助于趋势面分析^[3,17,19,20,21,30]。

大量的研究表明,耕层和犁底层受耕作影响很大;渗育层则既受人为活动影响,又可反映土壤发生的特点^[6],所以可依此来进一步分析两个土壤组合的性态变异规律。设坐标原点在地段的左下角上,以东西方向上的距离为 x ,南北方向上的距离为 y ,各观测指标为 z ,进行趋势面分析。

在平原区代表地段中,微地形的三次趋势面方程拟合程度已非常好(表4),由微机 Altos-8600 计算的结果与真实地形很接近,说明微地形的变化很有规律性。地下水面高度的三次趋势方程拟合效果也很好,它的趋势面从北向南降低,反映出受地段北边河流的影响。地段中部和南部除这一变化趋势外,地下水面还随微地形而有所起伏。所以地下水面高度在地段内主要受微地形与河流的影响。

地下水位埋深的趋势面拟合效果较差,说明它受局部因素的影响较大。但在三次趋势面中仍可看到,地下水位受河流影响,有从南向北逐渐变浅的趋势。在地段的中部和南部,还由于白土与黄泥白土滞水的影响,地势高处的土壤地下水位反而较浅。这两个因素已控制整个地段内地下水位变异的60%以上。同时,白色渗育层厚度(y_1 ,米)同地形相对高度(x_1 ,米)和距村远近(x_2 ,米)有密切关系(图3),可用下列方程表示:

$$y_1 = -1.69 + 0.323x_1 + 0.0215\ln x_2, r = 0.656^{**}, n = 20$$

表4 平原区土壤性态与环境因素的趋势面分析

Table 4 Trend surface analysis of soil properties and enviromental factors in the plain area

指 标 Item	均 值 Mean	总离差平方和 Sums of Squares	方程次数 Polynomial	拟合度 Fit goodness	F 检验 F test	显著性水平 α
地形 (m)	5.00	1.70	3	87.9	19.5	0.001
地下水高度(m)	3.97	1.70	3	86.7	6.53	0.005
地下水位 (cm)	94.7	2881.7	3	63.8	1.76	0.25
有机质(%)	0.72	1.71	3	44.1	2.10	0.10
全氮(%)	0.054	0.0054	3	41.1	1.80	0.25
全磷(%)	0.074	0.038	3	37.2	1.58	0.25
全钾(%)	1.38	2.13	3	43.6	2.06	0.10

母质、地形和水分状况是影响土壤性质微域变化的主要因素^[28]。在该地段内母质基本相同,地形与水分状况的变化趋势明显,三次趋势面的拟合程度很好。所以其它土壤性质的更高次趋势面对区分变异原因的意义不大。因此只采用了最高为三次的趋势面方程。

土壤养分含量的趋势面方程(表4),F检验所达到的显著性水平较低,三次趋势面的拟合度仅在40%左右。由此可见,土壤养分含量在地段的变化受人为耕作的干扰,区域性变化趋势的比例较小。

土壤有机质和全氮的趋势面相似,反映了两者空间分布的一致性,两者的含量都从地势高处向低处逐渐增多,与丘陵区分布相似^[9]。全磷含量则随地势升高而减少,但与地形变化对比有一定的偏转,在地段东北部的居民点附近出现磷素富集区,说明长期的人为

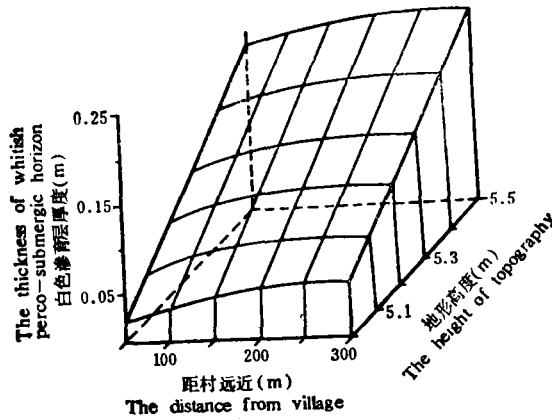


图3 白色渗育层厚度与地形高度和距村远近的关系

Fig. 3 The variation of whitish percolation-submergic horizon with the topography and the distance from village

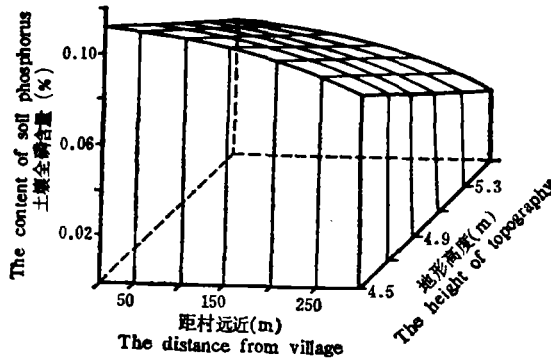


图4 土壤全磷含量与地形高度和距村远近的关系

Fig. 4 The variation of soil phosphorus with the topography and the distance from village

活动与微地形共同影响了磷的分布。如果设土壤全磷含量(%)为 y_p , 则:

$$y_p = 0.366 - 0.0527x_1 - 0.00715 \ln x_2, r = 0.541^{***}, n = 34$$

式中 x_1 为地面相对高度(米), x_2 为观测点到村落的距离。回归方程表明, 距村越近的土壤, 全磷含量越高(图4)。人为活动造成了磷的富集^[22], 可作为土壤发生特点的指标^[14], 美国土壤分类中也把磷的高含量作为区分人为表层与松软表面的指标之一^[27]。土壤全钾的三次趋势面反映出中间高, 东、西二边低的变化趋势, 即黄泥土含钾高, 而白土和乌泥土含钾较少, 与前人的结果^[1, 6]一致。

在圩区代表地段中, 现地面、原地表和堆迭层厚度的趋势面拟合效果很好(表5), 三次趋势面的拟合度都在82%以上, 说明三者具有明显的区域性变化趋势。对比三者可以看出, 人为堆迭层厚度从近河处向远河处变薄。现地面的变化形式既与原地表有相似之处, 又受堆迭层影响而有局部差异。现地面的高低完全受原地表和人为堆迭层的控制。即现在的微地形变化是由自然因素和人为因素共同决定的^[1]。设现地面相对高度(米)为

表 5 圩区土壤性态和环境因素的趋势面分析

Table 5 Trend surface analysis of soil properties and environmental factors in the polder area

指 标 Item	均 值 Mean	总离差平方和 Sums of squares	方程次数 Polynomial	拟合度 Fit goodness	F 检验 F test	显著性水平 α
地形 (m)	2.82	3.80	3	97.4	104.8	0.001
埋藏层高度 (m)	2.15	1.67	3	93.3	35.9	0.001
堆迭层厚度 (m)	66	10542	3	84.2	12.0	0.001
地下水高度 (m)	2.06	3.55	3	82.5	12.5	0.001
地下水水位 (cm)	76	10364	3	32.8	1.30	0.25
有机质 (%)	1.29	2.07	2	33.8	2.86	0.05
全氮 (%)	0.077	0.0052	2	36.3	3.20	0.025
全磷 (%)	0.117	0.039	1	19.9	3.86	0.05
全钾 (%)	1.50	0.83	2	38.5	3.50	0.025

y_i , 原地表的高度为 x_1 , 堆迭层厚度 (米) 为 x_2 。由此可得:

$$y_i = 0.195 + 0.856x_1 + 1.15x_2, r = 0.973^{***}, n = 34$$

x_1, x_2 对 y_i 的偏回归平方和分别是 $U_1 = 1.29, U_2 = 1.26$ 。由此说明原地表与堆迭层厚度对现地形的影响具有同等重要的作用。

地下水面高度的三次趋势方程也有很高的拟合度, 其趋势面与现地面有部分相似, 同样受原地表高度 (x_1) 和堆迭层厚度 (x_2) 的影响:

$$y_w = -0.273 + 0.841x_1 + 0.783x_2, r = 0.858^{***}, n = 33$$

式中 y_w 是地下水面高度 (米)。 x_1, x_2 的偏回归平方和为 $U_1 = 1.25, U_2 = 0.58$ 。可见堆迭层厚度对地下水面的影响没有原地表的影响大 (图 5)。 所以, 受堆迭层影响的程度不同, 地下水面与现地面的变化趋势不完全一致, 由此导致该区内地下水位埋深的区域性变

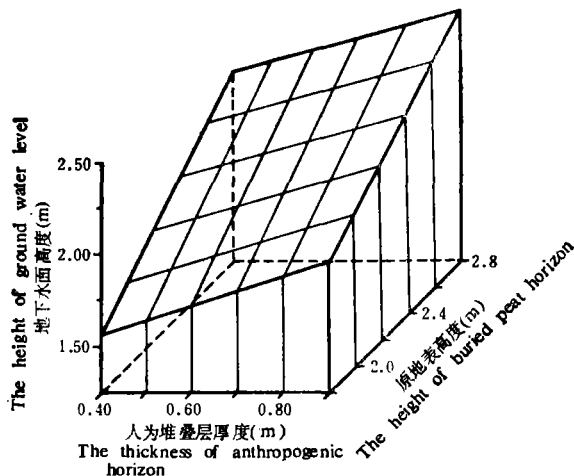


图 5 地下水面高度与原地表高度和堆迭层厚度的关系

Fig.5 The variation of groundwater level with the height of buried peat horizon and the thickness of anthropogenic horizon

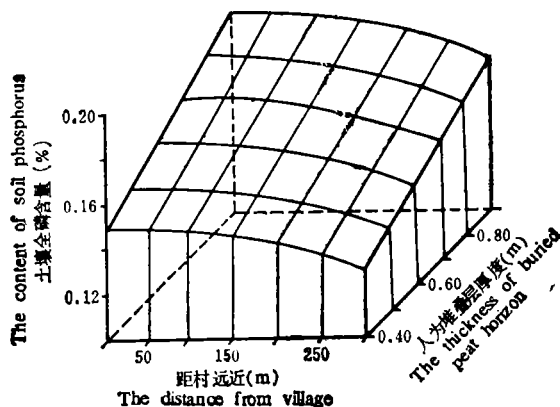


图 6 土壤全磷含量与堆迭层厚度和距村远近的关系

Fig. 6 The variation of phosphorus with the thickness of anthropogenic horizon and the distance from village

化趋势较小,仅一次趋势面方程可达 0.01 的显著性水平,反映出堆迭层越厚,地下水位越深的规律。回归方程也证明了这点:

$$y_g = 0.498 + 0.373x, r = 0.389^*, n = 33$$

式中 y_g 是地下水位埋深(厘米), x 是堆迭层厚度(厘米)。由此可证实堆迭层厚度是土壤脱沼泽程度的指标^[1,5,6]。

圩区土壤养分的趋势面拟合效果(表 5)与平原区相似。土壤有机质与全氮含量的趋势面基本相同,再次证实了二者在空间分布上的一致性,并且有随地势降低其含量变高的趋势,与回归分析结果相同^[7]。全磷含量以一次趋势面方程拟合最好,其计算结果表明从地段西北部居民点附近向外逐渐变低,如设堆迭层厚度(米)为 x_1 ,距村远近(米)为 x_2 ,则全磷含量与这两者的关系可以用下列方程表示:

$$y_p = 0.158 + 0.075x_1 - 0.0175\ln x_2, r = 0.521^{**}, n = 34$$

这表明全磷不仅有距村越近含量越高的趋势,而且还随人为堆迭层增厚而增多,说明磷素分布深受人为活动的影响(图 6)。土壤全钾含量的趋势面则不一样,其变化规律是随人为堆迭层增厚而降低,可表示为:

$$y_k = 1.74 - 0.353x, r = -0.408^*, n = 34$$

式中 y_k 为全钾含量(%), x 是堆迭层厚度(米)。这种现象可能是由于堆迭层越厚,水稻土发育程度越高,磷的富集和钾的淋溶程度越强引起的^[11,2,9],也可能是由于堆迭的河泥与原土壤母质的差异造成的。

总之,趋势面分析说明,环境因素的三次趋势方程大多能达到 90% 左右的拟合度,表明其区域性变化规律明显;而地下水位埋深与土壤养分含量的三次趋势面仅有 30—40% 的拟合度,说明这些性状的变化主要受人类活动造成的局部性变异影响。

(四) 土壤组合的肥力状况与作物生长

土壤组合的肥力状况:平原代表地段的四种土壤(白土、黄泥白土、黄泥土和乌泥土)的分布面积分别为 28%, 30%, 22% 和 20%,土壤养分含量均比较高(表 6),但不同地形

表 6 土壤耕层的养分贮量

Table 6 Nutrient content of A horizon soil (0—15 cm)

地 区 Area	土 壤 Soil	有机质(吨/公顷) O. M. (T/ha)	全氮(吨/公顷) Total N(T/ha)	全磷(吨/公顷) P ₂ O ₅ (T/ha)	全钾(吨/公顷) K ₂ O(T/ha)
平 原 Plain	白 土	66.8	3.83	1.22	41.0
	黄泥白土	65.9	3.85	1.58	39.8
	黄 泥 土	51.1	2.93	2.10	38.0
	乌 泥 土	67.7	4.16	2.41	41.0
圩 区 Polder	乌黄泥土	72.5	3.91	3.92	54.4
	乌 栅 土	70.9	3.96	4.31	56.7

部位的田块中,土壤特征层及其层位有某些差别(表 7),从而决定了土壤水气状况和障碍因素的影响程度。

白土的斑潜淀积层粘重,春雨季节往往造成滞水,白色渗育层养分含量低,是影响作物高产的障碍层次。黄泥白土的白色渗育层较薄,对土壤肥力的影响也较小。黄泥土无障碍层次,土壤通透性良好,所以肥力较高。乌泥土的潜在肥力较高,但因地势低,排水性能差,对作物生长并不有利。

表 7 平原区某些土壤层次的变异 ($n = 8$)

Table 7 Variation of some soil horizon in the polder area

田 块 Field	土壤层次 Soil horizon	出现深度平均值 (cm) Average depth	标准差 S	变异系数% CV
高 平 田	白 土 层	33	5.83	17.9
	黄 泥 层	36	4.73	13.1
平 田	黄 泥 层	28	2.80	10.0
低 平 田	乌 泥 层	40	5.21	13.0
	斑 纹 层	85	20.5	24.1

圩区土壤养分含量差别不大(表 6),但人为堆迭层的厚度有较大差异,并同土壤性状和水分状况有明显的相关性。因此可根据堆迭层的厚度,将头进田和二进田划为高框田,而三进田为低框田。堆迭层的厚度分别为 83 ± 1.85 , 75 ± 2.39 与 48 ± 1.48 。高框田基本无渍害威胁;而低框田在地下水位高时,可能对作物产生影响。目前建立了良好的排灌系统,这种影响已减小到不明显的程度。故圩区土壤的肥力比平原区相对均一。

土壤组合与作物生长的关系:在平原土壤组合中由于管理措施不同,作物产量有差别。但从平均值来看,各类土壤的作物产量仍受土壤肥力的影响,其产量顺序是:黄泥土 > 白土与黄泥白土 > 乌泥土;产量变异系数的顺序则与之相反。

白土与黄泥白土含磷量较低,渍水能使有效磷增加^[9],使水稻剑叶中磷的生物吸收系数随地势降低而变小(表 8),所以高平田应注意施用磷肥。钾的生物吸收系数也随地势降低而减小,可能与渍水条件下钾易淋失,也可能同 pH 低的土壤中有有效钾含量低有关^[9],乌泥土上的小麦常易倒伏,可能部分是由此引起的,应配合施用钾肥。锰的生物吸收系数是随地势降低而变大的,这可能与锰的有效性随 pH 和 Eh 的降低而提高有关^[9]。

表 8 不同土壤上水稻剑叶的生物吸收系数

Table 8 Coefficient of biological absorption by rice on different soils

地区 Area	土壤 类型 Soil type	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	序 列 Order
平原 Plain	白土	1.24	0.003	—	4.78	8.89	0.77	2.81	1.03	P>Mn>Ca>Si>Mg>K>Al>Fe
	黄泥白土	1.26	0.003	—	4.78	7.24	0.69	3.18	1.17	P>Mn>Ca>Si>Mg>K>Al>Fe
	黄泥土	1.24	0.004	—	4.64	4.71	0.66	3.41	0.81	P>Mn>Ca>Si>Mg>K>Al>Fe
	乌泥土	1.23	0.003	—	5.36	4.67	0.53	3.48	1.28	Mn>P>Ca>Mg>Si>K>Al>Fe
圩区 Polder	头进田	1.36	0.002	—	3.76	3.64	0.57	1.24	0.34	Mn>P>Si>Ca>K>Mg>Al>Fe
	二进田	1.34	0.003	—	2.40	1.90	0.61	1.57	0.31	Mn>P>Ca>Si>K>Mg>Al>Fe
	三进田	1.34	0.004	—	3.53	3.04	0.74	1.69	0.27	Mn>P>Ca>Si>K>Mg>Al>Fe

生物吸收系数 = $\frac{P_0}{S_0}$; P_0 ——某元素在植物体内的含量; S_0 ——某元素在土壤中的含量。

圩区土壤组合中,不同高程田块的小麦产量几乎没有差别。但因管理水平不同,产量差距相当大。小麦产量决定于播种期和肥料施用量等管理措施。产量同有机肥和化肥施用量的相关系数分别为 0.892** 和 0.835**。

水稻剑叶中磷的生物吸收系数具有与平原区相同的变化趋势。但钾的生物吸收系数却是随地势降低而略有增加(表 8),土壤和剑叶中 K_2O 含量有相同的变化趋势。锰的生物吸收系数虽然不同于平原区,但都排在序列的首位,与平原区的乌泥土相同,说明圩区土壤中锰的活性大,易为作物吸收。

总之,土壤组合中的性态变异,既受自然因素和人为活动的影响,又影响作物生长情况,是土壤生态系统水平结构的基础。

参 考 文 献

- [1] 中国科学院农业丰产研究丛书编辑委员会, 1961: 水稻丰产的土壤环境, 科学出版社。
- [2] 于天仁等, 1983: 水稻土的物理化学。科学出版社。
- [3] 王学仁, 1982: 地质数据的多变量统计分析。科学出版社。
- [4] 刘元昌, 1980: “双三制”下水稻土性质的变化及防治。土壤通报, 第 3 期, 46—49 页。
- [5] 李伟波、徐琪, 1982: 地形因素对太湖地区水稻土的发生与肥力的影响。土壤, 第 6 期, 215—219 页。
- [6] 徐琪等, 1980: 中国太湖地区水稻土。上海科技出版社。
- [7] 徐琪、熊毅, 1982: 太湖地区的农业生态及其分区。土壤学报, 第 18 卷 2 期, 110—121 页。
- [8] 袁从伟, 1980: 苏南五种水稻土的肥力与作物的相互关系。土壤学报, 第 17 卷 4 期, 328—334 页。
- [9] 袁可能, 1983: 植物营养元素的土壤化学。科学出版社。
- [10] 黄瑞采, 1979: 从物质实体和“生态系统”来研究土壤。土壤学进展, 第 5 期, 1—19 页。
- [11] 龚子同等, 1983: 华中亚热带土壤。湖南科技出版社。
- [12] 熊毅, 1978: 土壤生态系统研究的意义与展望。土壤, 第 6 期, 209—210 页。
- [13] 熊毅等, 1983: 土壤胶体(第一册): 土壤胶体的物质基础。科学出版社。
- [14] N. E. Smeck, (曹升展译, 1975), 1973: 磷—土壤发生风化过程的一个指标。土壤农化参考资料, 第 5 期, 20—25 页。
- [15] Beckett, P. H. and Webster, R., 1971, Soil variability: A review, Soil & Ferti., 34(1): 1—15.
- [16] Brinkman, R., 1978, Ferrollysis: Chemical and mineralogical aspects of soil formation in seasonally wet acid soils and some practical implications. Soil & Rice, 295—306.
- [17] Campbell, J. B., 1977, Variation of selected properties across a soil boundary. Soil Sci. Am. Jour., 41(3): 578—582.

- [18] Chen Jia-fang, Li Shi-ye, 1980, Some characteristics of high fertility paddy soils, Proceedings Symposium on Paddy Soil, 20—30, Science press, Beijing.
- [19] Davies, B. and Gramm, S. A., 1970, Trend surface analysis applied to soil reaction values from Kent, England. *Geoderma*, 3(3): 223—232.
- [20] Davis, John C., 1973, Statistics and data analysis in geology. John Wiley & Sons, Inc., New York.
- [21] Gittis, R., 1968, Trend-surface analysis of ecological data. *J. Ecol.*, 56(3): 845—869.
- [22] Griffith, M. A., 1980, A pedological investigation of an archaeological site in Ontario. Canada. *Geoderma*, 24(4): 327—336.
- [23] Hole, F. D., 1978, An approach to landscape analysis with emphasis with emphasis on soils. *Geoderma*, 21: 1—23.
- [24] Jenny, H., 1980: The soil resource. Springer-Verlag, New York Inc.
- [25] Moormann, F. R. et al., 1978: Rice: Soil, Water, Land, IRR1.
- [26] Simonson, R. W., 1971: Soil association maps and proposed nomenclature. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 35(6): 959—965.
- [27] Soil Survey Staff, 1975: Soil taxonomy. USDA.
- [28] Sondheim, M. W. et al., 1983: The relationship of soil and physiographic attributes to an ecological classification system. *Can. J. Soil. Sci.*, 63(1): 97—112.
- [29] Veneman, P. L. M. & Boine, S. M., 1982: Chemical and morphological soil characteristics in a new England drainage-toposequence. *Soil Sci. Soc. Am. Jour.*, 46(2): 359—363.
- [30] Walker, P. H. et al., 1968: Soil trends and variability across a selected landscapes in Iowa. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 32(1): 97—101.
- [31] Wright, R. L., 1979: On the analysis of soil variability with an example from Spain. *Geoderma*, 22(1): 297—313.
- [32] Xu Zu-yi, Chen Jia-fang, 1980: Differentiation of iron oxide in paddy soil in Taihu Lake region. Symposium on Paddy Soil, 471—474, Science press, Beijing.

SOIL ASSOCIATION AND ITS VARIABILITY IN THE MAJOR ECOLOGICAL AREA OF TAIHU REGION

Shen Siyuan, Xu Qi and Hseung Yi

(*Institute of Soil Science, Academia Sinica, Nanjing*)

Summary

In two representative sites selected from the plains and polders area in Taihu Region, the physical, chemical and mineralogical properties of soils were studied. Results obtained showed that the polder soil association was deeply influenced by anthropogenic horizon and the structure of soil mantle tended to be uniform; the soil association of the plain was greatly influenced by human activity of cultivation, the properties of the soils tended to be varied.

Trend surface analysis of the soil characteristic and morphological variance in the soil associations showed that in these two soil associations, the organic matter and total nitrogen contents of soils (30—40 cm) increased with the decreasing of topography, and the total phosphorus content increased with the decrease of the distance from the place where the soil is located to the village. Under the present management and farming technical level, the fertility and productivity of the polder soils have little variation. In the plains, the characteristics of the variation of soil association depends upon both natural factors and human activity, which are the basis of the horizontal structure of soil ecosystem.