

耕作制对土壤肥力的影响

熊毅 徐琪 姚贤良 朱兆良

(中国科学院南京土壤研究所)

土壤是农业生产的基础,没有肥沃的土壤就很难获得稳定的农业生产,就没有争取更高产量的物质条件。土壤之所以能够为农业生产提供物质条件,其原因就在于土壤具有肥力。土壤肥力是指土壤从营养条件和环境条件来供应和协调作物生长的能力,它是辨别土壤肥沃和瘦瘠的标准。用养得当,可使土壤肥力上升,如果用和养的矛盾处理不当,就会使土壤肥力衰退。

耕作制度是农业生产中的一个重要措施,但是任何一种耕作制度都是在特定的自然条件下,与一定的生产条件、社会经济条件和科学技术水平相适应的。先进的耕作制度,必须是农、林、牧、副、渔相结合,用地养地相结合,方能达到高产、稳产、优质、低成本的要求,并且土壤愈种愈肥。确定耕作制度必须因土而异,因地制宜,而不是一刀切,更不能破坏土地资源,降低土壤肥力。耕作制与土壤肥力是辩证相关的。土壤肥力的提高为先进的耕作制度提供了条件,而先进的耕作制又是培肥土壤的一种重要手段。所以,坚持用地养地相结合的原则,便可促进耕作制与土壤肥力不断发展,先进的耕作制与提高土壤肥力是辩证统一的。所以,能否保持和提高土壤肥力是检验耕作制是不是合理的重要标志之一。

我国北方地区的旱地,除个别地区外,限制农业生产的主要土壤因素是墒情不足和土壤有机质欠缺,一切措施都应当围绕这个问题进行,耕作制度改革也不例外。1979年5月中旬山西省农学会讨论耕作改制问题,大家认为以麦秋带状套种为主的两种两收或三种三收制,在入多地少、水肥条件好的社队是成功的,但不能一刀切,不能强求形式和规格的统一,不能片面追求高复种指数。要重视培肥改土,增种绿肥,不能把“间套”作为耕作改制的唯一内容。

我国南方诸省多在低平地区种稻。在排水不畅,而又没有良好排水工程的地区,稻麦两熟制的麦田,早就存在渍害。在这样的条件下大面积发展麦稻稻和肥稻稻双三制,更增加土壤泡水时间,使土壤耕层下部出现滞水的青泥层,不仅影响水分的渗漏和养分的释放、移动,还常因土壤过湿,烂耕烂耙而造成土壤僵板,肥力日愈低下。

通过双三制下土壤肥力的研究,我们深刻认识到,排水在争取水旱双丰收的重要意义。爽水性是肥沃水稻土的标志,土壤要有适当的通气孔隙,要有良好的土壤结构和土体构型,耕层要深厚,犁底层不能过分紧实,耕层下没有青泥条,土壤中养分要充足,有效利用率要高。但是连续双三制的土壤不可能得到上述的土壤条件。下面将从形态、物理性质和养分有效利用三方面分别讨论之。

一、耕作制对水稻土形态的影响

随着耕作制度的改变,稻麦两熟改为麦稻稻三熟,水稻土的形态及其类型也发生相应

的变化。

(一) 双三制对水稻土形成过程的影响

太湖地区是古老农业地区,在数千年的耕种利用过程中,随着耕作制度的演变,水稻土的形成过程不断发展,水稻土类型也不断地变化。

在利用之初,实行轮荒制,当时的水田土壤与沼泽土相比,不可能发生本质变化。水稻连作增加土壤泡水时间,水稻土向表潜方向发展,但与沼泽土仍无本质的差异。在唐宋时代,开始种植三麦,为了培育宜稻宜麦的土壤,不少地区已形成肥力较高的爽水水稻土(图版1照片2)。

六十年代初,开始试种双季稻,以后逐步推广。由于普遍地长期种植麦稻稻,土壤泡水时间加长,烂耕烂种,有机质肥料比例下降,加之基本农田建设一时又跟不上,土壤产生一系列不利于稻麦高产再高产的性质,水稻土的形成过程和类型也相应发生变化。

稻麦两熟期间,一般种稻季节(6月中旬到10月中旬)150天左右,淹水时间130天上下;改制后,水稻生长时间(4月底到11月中旬)达200多天,淹水时间比过去长一个半月到两个月。因此,土壤呈还原态的时间加长,还原强度也大,就是旱季土壤也不通气,干湿交替比过去弱得多,有些爽水水稻土向滞水水稻土发展。

为什么改制后水稻土的形成过程和土壤类型会发生变化,主要原因是排水条件差,灌水时期长,加之平整土地后河道密度减少,在亚耕层中形成滞水的青泥层。

这层土壤因土粒分散粘闭,通透性差,爽水性水稻土向滞水性水稻土发展(图版1照片1)。同时由于土壤过湿,烂耕烂种,土壤逐渐变为僵板。

太湖地区的爽水性水稻土主要有黄泥土、乌黄泥土和鳝血黄泥土,其中以鳝血黄泥土的肥力最高。据1959年土壤普查统计,以黄泥土为主的平田地区,鳝血黄泥土占全部面积五分之一至三分之一。最近普查反映,改制后鳝血黄泥土的比例下降。据金山公社1979年的普查资料,黄泥土占稻田土壤60%,而其中鳝血黄泥土仅占2%。僵板黄泥土的排水条件较差,有机肥料长期欠缺,耕性很差。1959年土壤普查统计一般只百分之几,但目前增加到16%。由此可见,太湖地区普遍实施双三制后,由于措施跟不上,引起了土壤性质与类型的变化,应予注意。

(二) 耕层鳝血斑的形成和特征

鳝血斑是耕层中出现的一种红棕色胶膜,长期以来群众把鳝血作为肥沃水稻土的形象指标,“种田要种鳝血土”,这是当地流行的一种评价土壤肥瘦的谚语。

鳝血土是人工培育的结果。从太湖地区来看,鳝血土形成条件主要有三条^[3]。第一条是地下水位适中,土壤渗透良好。鳝血土的地下水位旱季多为50—70厘米以下,即使在淹水季节,土体中的水气仍是协调,每日渗透量约7—15毫米。囊水水稻土不易形成鳝血,漏水水稻土与滞水水稻土也不易出现鳝血。

第二条是耕层中有丰富的有机质,耕层不砂不粘。根据大量标本的统计,鳝血土耕层的有机质含量多在2.5—3.5%之间。另外,耕层土壤质地多为粘壤土至壤粘土,过砂过粘都不易形成鳝血。

第三条是土体中要有明显的干湿交替,促使有机质更新。鱗血是一种铁的化合物,在淹水条件下还原为高铁,落干后氧化为高铁。由于经常施用有机肥料,频繁的干湿交替促使有机质分解和更新,并产生有机酸,而形成铁的有机络合物。如有机质少,氧化还原交替不明显,则有碍鱗血的形成。

但是,由于犁底层的坚实不透水,一般鱗血物质不透过犁底层(图版 I 照片 4)。在某些土壤中,如囊水水稻土,由于质地粘,开垆大而深,在犁底层之下亦可见鱗血,湿时同耕层鱗血相似,但一旦暴露便很快褪色,这种鱗血可称为假鱗血。鱗血的网状结构明显,网格上附着氧化铁,而假鱗血的网状结构不明显¹⁾。

长期实行双三制后,还原期延长,有机肥的数量和质量都明显下降,鱗血土的比例不是增加,而是减少。根据 1959 年土壤普查材料,太湖平原地区一般鱗血土可占 20% 以上,有的达到 30% 左右,但目前这个地区鱗血土的比例下降到 10% 上下,充分说明太湖地区水稻土的肥力不是上升,不是越种越肥。

(三) 耕层青泥的形成和特征

青泥层本是圩区囊水水稻土的特征,也是稻麦高产的障碍层(图版 I 照片 3)。这层土壤的特点是土色发青,无结构,滞水不透气,耕性甚差,群众形容它是“敲敲一个洞,耙耙一条缝,干后像石头,敲也敲不碎”,同鱗血土的干耕易碎,湿耕易粉,形成鲜明的对比。

改制以后,由于淹水时间延长,土性粘闭,耕作阻力大,表层耕翻深度仅为过去的三分之二,部分土壤的亚耕层长期得不到翻耕晒垆,长期的还原作用使土粒分散,破坏土壤结构,粘闭土壤孔隙而形成青泥层¹⁾,又称次生潜育层,群众对这层土壤十分厌恶,把它比作“食道癌”。根据大面积的调查,凡出现青泥层的田块,不仅旱作物不易高产,而且土性冷,稻秧活棵慢,严重时可出现僵苗僵稻,产量远比爽水田低。

苏州地区改制时间不长,青泥层的出现随年际而变化,1977 年春季多雨,青泥层比较普遍,旱作(三麦、油菜)严重减产。杭嘉湖地区,包括苏州地区吴江县改制时间已逾二十年,土壤返淤现象普遍,不仅在囊水水稻土上有返淤现象,而且在爽水水稻土上也形成厚约 20—30 厘米的青泥层,这一层的特点同囊水田的青泥层相似,旱季氧化还原电位在 200 毫伏左右,并具有明显的亚铁反应(亚铁离子可高达 10ppm),产生毒害(图版 I 照片 1),不仅机耕受阻(改为船型拖拉机),而且稻麦均难高产。前车之鉴,应予注意。

(四) 耕层厚度与犁底层紧实状况的变化

改制之后,耕层一般变薄,过去土壤耕性较好,耕作省力,不论人铧或牛耕,耕层厚度大都在 15—17 厘米之间,小于 15 厘米厚的仅有少量远田,而近村田的耕层厚度一般大于 18 厘米,深耕对增产的效果已为实践所证实,无需多述。

改制后,一方面因双抢期间农活紧,经常带水耕耙,另一方面是旋耕犁只能耕深 10—12 厘米,因此耕层普遍变浅。据江苏省吴县金山公社土壤普查统计,不论那种土壤,也不论近村田或远村田,耕层厚度一般不到 15 厘米,比过去浅了三分之一到二分之一。

1) 顾新运、李淑秋, 1979: 水稻土中“鱗血”特性的研究。《太湖地区水稻土肥力研究论文集(摘要)》,中国科学院南京土壤研究所编。

耕层变浅,意味着作物营养面积缩小,再加上亚耕层青泥化,环境恶化,更影响稻麦生长和产量。

耕层变浅的同时,犁底层也发生明显的变化。排水不良的田块,犁底层加厚,再加上亚耕层的青泥化,滞水不漏,旱季的土壤渗透系数几等于零。在排水较好的田块,也由于泡水时间加长,机耕挤压比过去大,犁底层的厚度也增加。据过去调查统计,犁底层厚度仅为5—8厘米,而金山公社1979年的土壤普查结果,犁底层厚达10厘米,有的可达15—20厘米。改制后水稻土渗透速度普遍降低,这也是原因之一。

表1 江苏省吴县金山公社耕层厚度统计

Table 1 Statistics on the depth of cultivated horizons in Jinshan commune, Wu Xian, Jiangsu province

| 耕层厚度 (cm) Depth of cultivated horizon | 不同厚度耕层数 Number of different depth of cultivated horizon | 占 % % in total number |
|--|---|--------------------------|
| 10—13 | 84 | 50.6 |
| 13—15 | 69 | 41.6 |
| >15 | 13 | 7.8 |
| 合 计 | 166 | 100 |

二、耕作制对土壤物理性质的影响

太湖地区推行双三制以后,有些地方由于条件(如农田水利,有机肥料等)没有跟上,群众反映土壤变坏,“发僵”、“发滑”的面积愈来愈大^[9]。我们曾将1965年和1977年的田间观测材料对比,明显看出太湖地区普遍实施双三制后,土壤物理性质有变坏的趋势。

(一) 耕层土壤结构恶化

耕层土壤发粘、发滑,并非粘粒的增加,而是土壤团聚体和微团聚体遭受破坏,使土壤粘性加强,土粒排列紧密。以苏南地区的黄泥土来说,六十年代时鲮血黄泥土的比例较大,其微团聚体(1—0.05毫米)含量比僵板黄泥土多2—5%(两种土壤的机械组成相近)¹⁾。但改制以后,这级微团聚体的数量明显减少。我们曾将1965年与1977年改制前后的分析结果相比^[10],这一地区黄泥土的机械组成很少变化,而团聚体含量有明显的差别,改制前黄泥土的团聚体(1—0.05毫米)比改制后多10—20%,而改制后黄泥土的粘粒(<0.01毫米和<0.001毫米)都比改制前有所增加(表2)。根据样品平均数差异的标准差统计分析,差异显著, $P < 0.01$,说明改制后土壤团聚体有破坏和分散为细小颗粒的趋势。

在长期双三制下,土壤泡水日久,微团聚体可逐步分散为细小颗粒,而堵塞孔隙,使土壤粘闭。土体干后收缩,加强土壤的抗压强度,而形成不易散碎的僵块。在有机质含量的一定范围内,土壤抗压强度随着土体中粘粒和物理性粘粒含量的增加而增加。前者相关系数(r)为0.697($P < 0.02$);后者 $r = 0.635$ ($P < 0.02$)。从 $y = 1.209x - 1.845$ 的迴

1) 中国科学院土壤研究所土壤物理组, 1965: 苏南地区水稻土“松软”和“僵板”的某些土壤物理性状。(未刊稿)

归方程式来看,土壤粘粒含量在 18—30% 之间的范围内,每增加 1% 粘粒,可增加抗压强度 1.2 公斤/厘米²。如增加 4% 的粘粒,则增加抗压强度 5 公斤/厘米²。土块抗压强度增大,正是土壤发僵的一种表现,也说明土壤结构变坏。结构恶化,不仅影响土壤中一系列的物理、化学和生物学过程,而且直接影响根系的伸展和穿插。

表 2 改制前后土壤颗粒分布情况 (平均%)

Table 2 Distribution of soil particles before and after converting into triple-cropping system

| 项 目 Item | 机械组成 (粒径: mm) Mechanical composition | | | 团聚体组成 (粒径: mm) Aggregate composition | | |
|--|---|------------|--------|---|------------|--------|
| | 1—0.05 | 0.01—0.001 | <0.001 | 1—0.05 | 0.01—0.001 | <0.001 |
| 改制前 (1965 年春采样) Before converting into triple-cropping system (sampling at spring, 1965) | 3.3 | 28.0 | 24.8 | 24.3 | 20.5 | 1.4 |
| 改制后 (1977 年春采样) After converting into triple-cropping system (sampling at spring, 1977) | 2.1 | 28.5 | 24.8 | 12.8 | 26.7 | 4.5 |

注: 分析样品都是 12 个。Note: There are 12 analyzed samples.

吴县农科所及其附近生产队各有一块田,农科所的这块田改制后,由于水肥条件都能满足要求,土壤结构仍保持良好,而附近生产队的一块田,改制后由于水肥条件都未跟上,土壤结构已变差(表 3)。我们曾在这两块田内采取 10 × 10 × 15 厘米³的原状土,进行水稻根系生长试验,幼苗生长 55 天,用 ⁸⁶Rb 注射法测定根系在土体内的分布。测定结果是,结构好的黄泥土在 0—5 厘米耕层中的根量比结构差的稍多,含根量占总根量 49%,而结构差的为 45%。株高、分蘖数以及植株的干、鲜重也是结构好的黄泥土优于僵黄泥土(表 4)。

表 3 供试黄泥土的基本性质

Table 3 Characteristics of investigated paddy soils

| 采土地点 Locality | 结构性 Soil structure | 粘粒(%) (<0.001 mm) Clay | 抗压强度 (kg/cm ²) Compressive strength | 无定形 Fe ₂ O ₃ (%) Amor- phous Fe ₂ O ₃ | 有机质 (%) OM | 全 氮 (%) Total N | Eh(mv)* | | 渗漏** (毫米/日) Percolation rate (mm/ day) |
|----------------------------|--------------------------|---------------------------------|--|--|------------------|-----------------------|--|---------------------------------|--|
| | | | | | | | 表 土 (0—15 cm) Surface soil | 15厘米以 下土层 Below 0—15cm | |
| 吴县农科所田块 (黄泥土) | 好 | 29.2 | 23.5 | 2.19 | 3.19 | 0.17 | 292 | 229 | 7.8 |
| 吴县农科所邻近 生产队田块 (僵黄泥土) | 差 | 26.8 | 35.1 | 1.74 | 2.97 | 0.16 | 214 | 133 | 1.5 |

* 为 1978 年 6 月 22 日在田间测定,系 10 个重复的平均数。

** 1978 年 8 月 15 日在田间测定,系 10 个重复的平均数。

* Determined on June 22, 1978 under field condition, the numerals in this table are mean values of ten repetition.

** Determined on August 15, 1978 under field condition, the numerals ditto.

Distribution of solid, liquid and gas phases

不同剖面各层次的三相分配 (%)

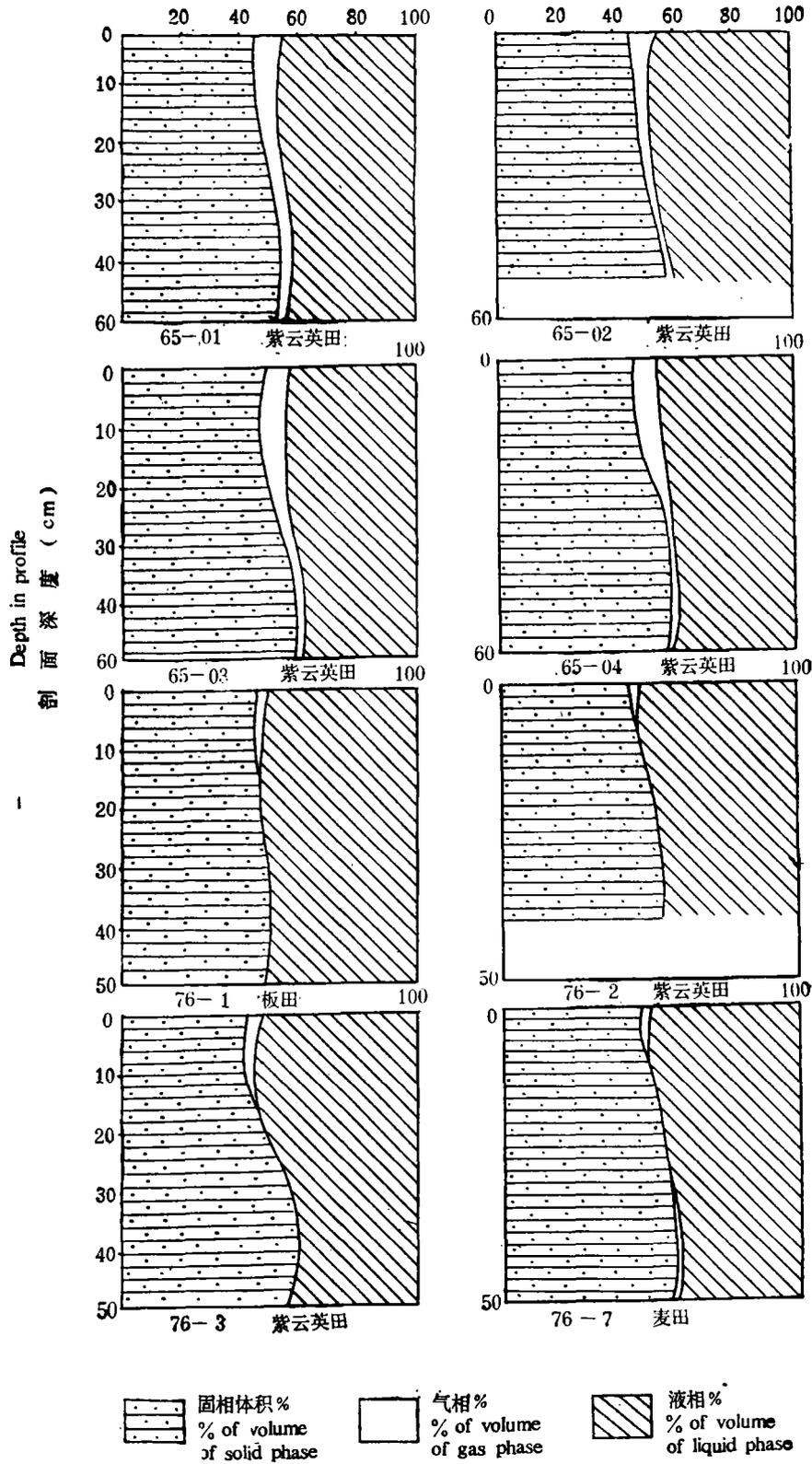


图1 不同剖面各层次的三相分配

65—, 系1965年测定(改制前); 76—, 系1976年测定(改制后)

Fig. 1 Distribution of solid, liquid and gas phases in soil profile

表 4 水稻植株地上部分的农艺性状
Table 4 Agronomic character of the top of rice plant

| 土 壤 Soil type | 结构状况 Soil structure | 分 蘖 数 Tillering number | | 株高(厘米) Plant height | | 株 重 (克) Weight plant | |
|------------------|------------------------|---------------------------|--------------------|------------------------|--------------------|-------------------------|--------------------|
| | | 平 均 Mean value | 增 加 % Increment | 平 均 Mean value | 增 加 % Increment | 平 均 Mean value | 增 加 % Increment |
| 吴县农科所田块 | 好 | 23±3.2 | 13 | 35±3.1 | 6 | 6.72±0.61 | 26 |
| 吴县农科所邻近 生产队田块 | 差 | 20±1.7 | — | 33±2.4 | — | 5.29±0.68 | — |

注: 表中数据系平均值和标准差。

Note: Numerals in this table are mean values and standard deviations.

(二) 土壤通透性变坏

为了研究双三制前后土壤剖面的孔隙分布情况, 我们曾就 1965 年和 1976 年几个黄泥土剖面的分析结果进行比较。对比剖面的耕层质地基本接近(粘粒在 20—22%), 茬口多为紫云英, 土样是在不同年份的春季采集的, 比较结果是土壤湿度为田间持水量时的土壤的通气孔隙改制前较多(图 1)。据 1965 年的分析结果, 土壤剖面(40 厘米)内都有一定量的通气孔隙, 而 1976 年所分析的剖面内, 耕层以下, 特别是犁底层的通气孔隙极少。最近我们曾就无锡、吴县等地 9 个黄泥土犁底层的资料进行统计, 通气孔隙的平均值只 0.9%(体积%), 充分说明土体中的水分很难向下渗漏。以无锡黄泥土为例(1976 年 4 月用管子法在田间测定, 每个数据为 10 个测点的平均数), 多数剖面犁底层的 K_{10} (透水速度)每分钟只有 1 毫米以下(图 2)。

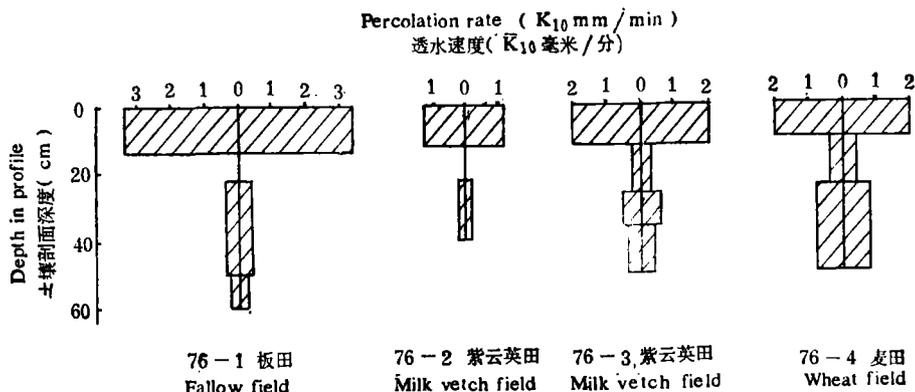


图 2 黄泥土旱季时的分层透水速度 (K_{10} 毫米/分)
(1976 年 4 月田间测定)

Fig. 2 The percolation rate in different horizons of paddy soils during dry season (K_{10} mm/min)
(Determined under field condition in April 1976)

土壤通透性不良, 不仅影响氧对根系呼吸的供应, 还有碍耕层环境条件的更新和微生物的活性, 而且也影响养分的供应状况。

(三) 土壤水分性质变差

土壤水分过多和滞水性加强是造成土壤物理性质变劣的重要因素。比较干旱的1976年春季,我们曾在无锡东亭测定土壤水分含量,结果是不管板田或紫云英田,土壤耕层内的含水量多在30%(重量)以上,田间持水量很接近于饱和含水量,只要稍微补水(或由降水或由灌溉),耕层就可达到水分饱和和状态。至于犁底层内的自然含水量更多,经常接近于田间持水量,而田间持水量又接近于饱和含水量^[10](表5)。因此,土体中难于进行干湿交替,缺乏形成良好结构所必需的干燥过程。

表5 黄泥土的水份性质(1976)

Table 5 Moisture condition of paddy soils

| 剖面编号和层次 (cm) No. of profile and horizon depth | 含水量(重量%) Soil moisture content (weight %) | | | 剖面编号和层次 (cm) No. of profile and horizon depth | 含水量(重量%) Soil moisture content (weight %) | | |
|---|---|----------------------------|---|---|---|----------------------------|---|
| | 自然含水量 Natural moisture content | 田间持水量 Field capacity | 饱和含水量 Saturated moisture content | | 自然含水量 Natural moisture content | 田间持水量 Field capacity | 饱和含水量 Saturated moisture content |
| 76-1: 0-12 | 31.0 | 42.5 | 45.0 | 76-4: 0-13 | 40.6 | 45.5 | 48.9 |
| 12-22 | 41.0 | 43.2 | 44.6 | 13-24 | 33.4 | 35.4 | 37.9 |
| 22-50 | 31.4 | 37.2 | 38.0 | 24-50 | 32.3 | 33.9 | 34.8 |
| 50-57 | 26.1 | 28.1 | 34.0 | 76-5: 0-12 | 20.6 | 42.4 | 45.1 |
| 57以下 | 26.5 | 28.8 | 29.7 | 12-26 | 34.6 | 35.7 | 37.5 |
| 76-2: 0-12 | 37.0 | 42.6 | 44.6 | 26-47 | 28.4 | 29.3 | 30.4 |
| 12-24 | 34.8 | 36.3 | 37.3 | 76-8: 0-15 | 24.1 | 39.4 | 45.0 |
| 24-40 | 30.1 | 31.7 | 32.4 | 15-30 | 32.4 | 34.2 | 35.1 |
| 76-3: 0-13 | 36.8 | 45.8 | 48.8 | 30-47 | 24.5 | 26.4 | 29.5 |
| 13-26 | 41.7 | 43.8 | 45.7 | — | — | — | — |
| 30-34 | 26.4 | 27.9 | 29.0 | — | — | — | — |
| 34-53 | 32.4 | 33.7 | 34.8 | — | — | — | — |

表6 不同年份黄泥土耕层中无定形 Fe₂O₃ 含量*(平均%)

Table 6 Contents of amorphous Fe₂O₃ in plough horizon of paddy soil in years 1965, 1977 and 1978

| 肥 力 Fertility | 1965年春 Spring, 1965 | 1977年春 Spring, 1977 | 1978年春 Spring, 1978 |
|------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| 高 High | 1.90(9) | 0.58(6) | 1.86(2)** |
| 低 Low | 1.66(9) | 0.45(6) | 1.58(2) |

* 太姆氏液提取;括号内数字是分析标本数。

** 1978年采集的其它类型水稻土耕层中无定形 Fe₂O₃ 含量多在1%以上。

* Extracted by Tamm's solution. The numeral in brackets is number of analysed sample.

** Content of amorphous Fe₂O₃ in the other paddy soil types sampled in 1978 is above 1%.

在水稻生长期中,土壤经常处于渍水条件,如在整个过程中有阶段性的干燥作用,则有利于通气孔隙的形成,促进土体疏松及水稳性团聚体的形成。土壤中无定形高铁的积累,可间接反映土体中通气孔隙的形成。改制前,1965年土体中的水分条件较好,多数土

壤的通气条件尚可, 耕层中无定形 Fe_2O_3 的积聚较多, 土体一般较松。改制后土壤中水分含量最多的一年, 孔隙普遍变低, 耕层中无定形 Fe_2O_3 的积聚明显减少, 土体紧实。1978 年由于冬春气候特别干旱, 土壤通气孔隙增多, 无定形 Fe_2O_3 的积聚亦增多, 但比 1965 年仍然偏低 (表 6)。冬春气候干旱, 不仅有利于良好结构的形成, 增加土壤中的通气孔隙, 就是结构差的土壤亦可因冬春干旱而使通气孔隙稍有增加。据分析结果, 在 1975—1977 年, 结构好的黄泥土的通气孔隙大多为 5—10%, 而结构差的土壤多 <5%。由于 1978 年冬春干旱, 结构好的土壤其通气孔隙可 >10%, 结构差的土壤亦可增至 5—10%。

三、耕作制与养分利用的关系

耕作制度的改变, 也影响到作物对土壤和肥料中养分的有效利用。现就苏州地区的研究结果, 以氮素为主讨论如下。

(一) 土壤氮素的有效利用

生产 1000 斤早稻, 其地上部分所累积的氮量比单季晚稻略高一些 (在同为 900—1000 斤产量的条件下, 水肥措施适当, 氮素的生产效率可得到比较充分的发挥), 但是, 早稻的大田生长期短, 而在其生长期土壤氮素的矿化率又甚低, 因此, 早稻高产时对土壤氮素的依赖性 (57.8%) 也就比单晚 (75.9%) 低得多^[5]。换言之, 单晚改种双季稻, 必须提高每季水稻的氮肥用量。

实施双三制后, 土壤氮素的矿化过程与水稻吸氮过程之间的协调程度明显降低, 影响土壤氮和肥料氮的有效利用。据田间观察^[5], 黄泥土中土壤氮素矿化量大量增加的时期约在 8 月份, 与单晚穗分化阶段需要吸收大量氮素的时期是吻合的, 因而在施肥和水浆管理上都比较易于调节。但它不适应双季稻的需氮特点。从图 3 来看, 在早稻的生长过程中, 出现了两个氮素供求关系不协调的时期。在分蘖阶段, 由于当时气温尚低, 土壤氮素的矿

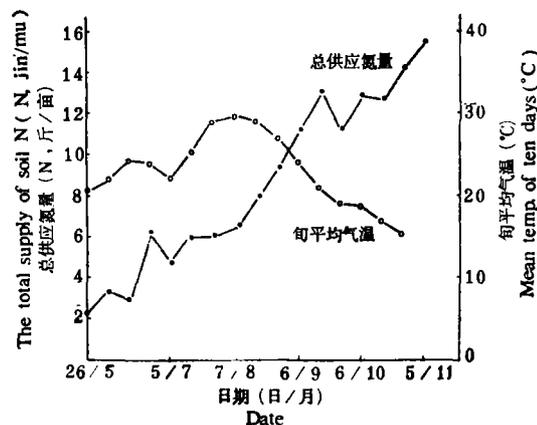
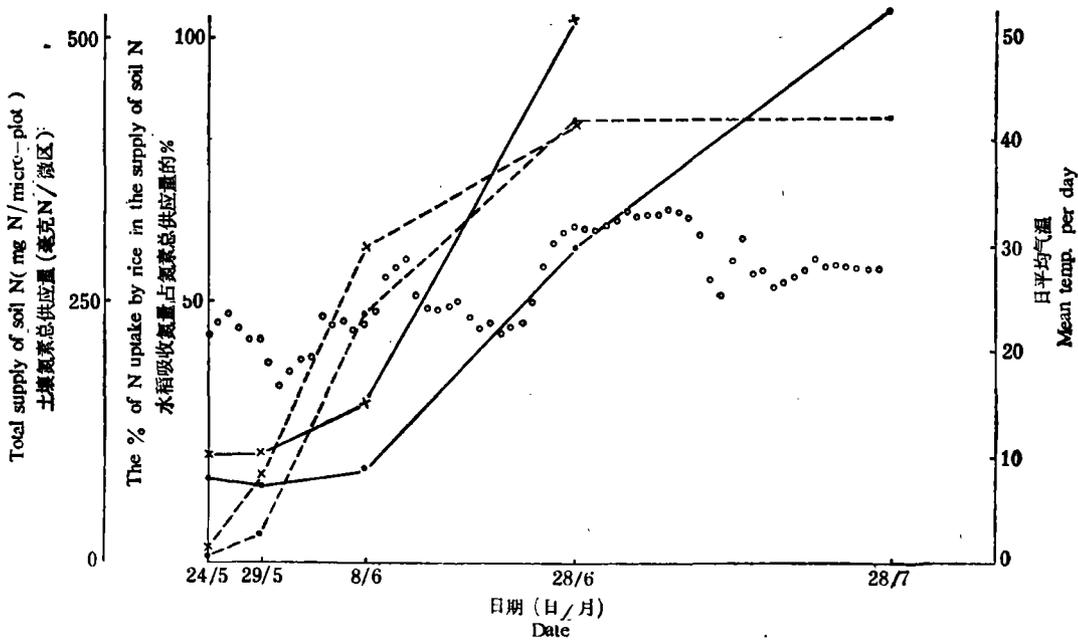


图 3 无氮肥区土壤氮素总供应量

(田间 4 平方米微区, 1976)

Fig. 3 The total supply of soil N in no-N plot (Micro-plot—4m², 1976)



× 结构好的土壤 Well structured paddy soil ● 结构差的土壤 Poorly structured paddy soil
 —— 氮素总供应量 Total supply of soil N - - - 水稻吸收氮量占氮素总供应量的% % of N uptake by rice plants in the supply of soil N ○ 日平均气温 Mean temp. per day

图 4 不施氮肥区土壤氮素总供应量及水稻吸收氮量占总供应量的%

(田间微区试验,微区系为一直径 29 厘米的塑料圆筒埋入土中,每筒的面积约为万分之一亩)

Fig. 4 The total supply of soil N and the percentage of N-uptake by rice plants in no-N plot (Micro-plot—0.0001mu)

化速率较低^[6],而这个阶段正是早稻的吸氮高峰期^[4],因此土壤氮素的供应远低于早稻的需求。到了抽穗和灌浆阶段,气温已经较高,土壤氮素的矿化较快,但此时早稻的需氮量很少,过多的氮素供应反而容易引起贪青,明显地增加稻草含氮量。据统计,目前早稻稻草的含氮量一般为 1% 左右,有的甚至高达 1.3% 以上,几为过去单晚稻草含氮量 (0.53%) 的两倍,其结果是空秕率大量增加^[5],这是当前一般管理水平下双季稻体内累积氮素转化成稻谷的效率较低的重要原因之一(包括土壤来源和肥料来源两部分的共同效率)。对单晚来说,其平均值和标准差分别为 55.1 ± 5.9 斤稻谷/斤 N, $n = 23$;而对双季稻来说,则只为 47.4 ± 6.3 , $n = 29$,并且也影响到氮肥效果的充分发挥(每斤硫酸铵在单晚增产稻谷的平均值和标准差为 4.4 ± 0.9 斤, $n = 4$;但在双季稻上则只有 2.5 ± 0.4 斤, $n = 3$)。

根据初步研究结果,土壤结构和质地也是影响土壤氮素矿化过程的重要因素^[6]。结构差或质地粘的土壤,其氮素的矿化量低,而且水稻对矿化所形成的铵态氮的吸收也较慢(图 4)^[6]。这可能是由于铵态氮在土壤中呈全层性分布,结构性差的土壤中,水稻根系的伸展较慢,从而影响铵态氮的迅速吸收^[6]。质地粘重的土壤,则可能是由于其对铵离子吸

1) 朱兆良、汪祖强等,1963—1964 年未刊资料。

附能力较强的结果。因此,在结构差或质地粘重的土壤上,早稻生长前期氮素供求之间的矛盾比结构好或质地轻的土壤更为突出。改制后土壤结构变差,很不利于早稻的氮素营养。

(二) 有机肥料氮的有效利用

苏州地区常用的有机肥有草塘泥、猪厩肥、紫云英、绿萍、水生绿肥等。从初步估算的全区耕地的氮素平衡帐(表 7)来看,有机肥料氮只占总收入氮量的 20% 左右。主要原因是双三制需要增施大量化学氮肥,而双三制又大量地减少绿萍的面积,同时相当一部分紫云英也因耕翻做早稻秧田,其鲜草产量极低。另外,有机肥料的氮素释放缓慢,所以,有机肥氮在双季稻高产中的有效利用也受影响。对连作晚稻来说,施肥主要是为了保证在安全期以前齐穗,有机肥料用量不宜过多。再从氮素释放过程来看(图 5),其情况与土壤氮素的释放过程一样,在 7 月中下旬和 8 月份的高温阶段,氮素的释放量也迅速增

表 7 苏州地区 1978 年农业生产中氮素平衡帐 (N 斤/亩)

Table 7 The nitrogen balance sheet in the agricultural field of Suzhou district (jin N/mu, 1978)

| 收 入 N input: | | 支 出 N output: | |
|-----------------------|--------|---|------|
| 化学氮肥 | 32.8 | 收 获 | 27.2 |
| Chemical fertilizer | | Harvest | |
| 共生固氮 | | 淋失、逕流 | 0.2 |
| Symbiotic fixation | | Leaching, runoff | |
| 紫云英 | 1.6 | 反硝化+NH ₃ 挥发 | |
| Milk vetch | | Denitrification+Volatilization of NH ₃ | |
| 绿 萍 | 0.3 | 化学氮肥 | 16.4 |
| Azalla | | Chemical fertilizer | |
| 非共生固氮 | | 有 机 肥 | 1.1 |
| Nonsymbiotic fixation | n. d. | Organic manure | |
| 水生绿肥 | 0.2 | | |
| Aquatic plants | | | |
| 稻草还田 | 1.5 | | |
| Rice straw | | | |
| 人粪尿 | 1.3 | | |
| Night soil | | | |
| 猪粪尿 | 3.8 | | |
| Pig manure | | | |
| 种 子 | 0.9 | | |
| Seeds | | | |
| 灌溉水 | 0.4 | | |
| Irrigation water | | | |
| 降 水 | (3.1) | | |
| Precipitation | | | |
| 总 计 | 45.9+? | | 44.9 |
| Total | | | |

注: 括号内的数字见鲁如坤等, 1978: 土壤学报, 16 卷 1 期, 81—84 页。

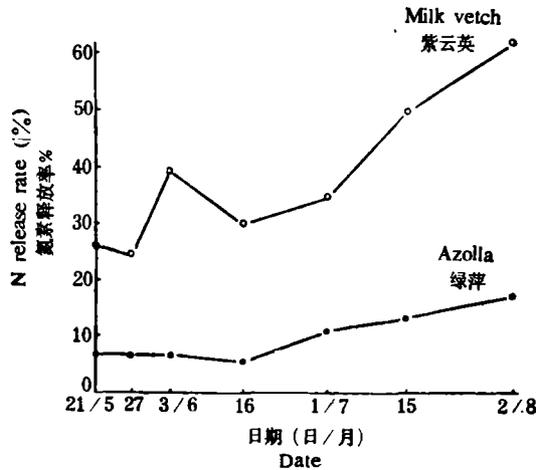


图5 绿萍和紫云英的氮素释放(早稻盆栽,加入
N 300 毫克/3公斤土 5月14日淹水)^[11]

Fig. 5 The N release rate of azolla and milk vetch (Early rice in pot
exp. N applied—300mg N/3kg soil, waterlogged on 14, May)

多¹⁾。这对单晚是适宜的。单晚的穗分化阶段要求氮素的供应稳而长,在稳肥性不太高的土壤上,一般多强调用有机肥料作穗肥^[7]。但是对早稻来说,情况就有所不同,在一般产量(800斤/亩以下)情况下,有机肥料的这种供氮特点并无不良的影响,而且是一种十分重要的肥源。如要求高产而进行施肥,有机肥料的这种供氮特点,正像土壤氮素矿化过程一样,很不适应早稻早发的要求,并易引起后期贪青,肥水措施稍有不当地,空秕率将大量增加^[12]。

(三) 化肥氮的有效利用

苏州地区耕地的氮素平衡帐(表7)中,化肥氮占总收入氮量的比例高达60—70%,说明双三制对化肥氮的依赖性很高。但就当前的主要氮肥品种(碳铵、尿素)和主要施肥方法(基肥混施或表施,分蘖期表施)来看,氮肥的利用率很低,损失达到一半左右。尿素和碳铵造粒深施,是提高利用率,减少氮素损失的一种十分有效的施用方法。但是,如图6所示^[6],水稻对深施粒肥的吸收迟于粉肥表施和混施的,特别是在结构性差的土壤上,表现得更加突出^[6,11],因而难以满足双季稻早发的要求。氮肥中期表施,其利用率较高,损失也明显减少,但由于施用时间过迟,以后又有一段高温时期,土壤和有机肥料氮的释放量都较多,再施用化学氮肥,更易使空秕率大量增加,氮素的稻谷生产效率显著降低。因此,在生产上只好采用氮素利用率低而损失严重的那些施用方法。从整个苏州地区耕地的氮素平衡帐来看,化肥氮的损失量占全年作物取走氮量的60%(表7)。根据试验结果,¹⁵N标记碳铵表施后的下移深度不超过15—30厘米^[4],由此可以看出,氮素损失的主要途径是反硝化作用和氨的挥发。今后急需探索能满足水稻早发要求的粒肥施用方法(如尽量施在稻穴附近,以利根系早期的迅速吸收),这不仅是一个提高氮肥经济效益的问题,而且

1) 朱兆良、汪祖强等,1963—1964年未刊资料。

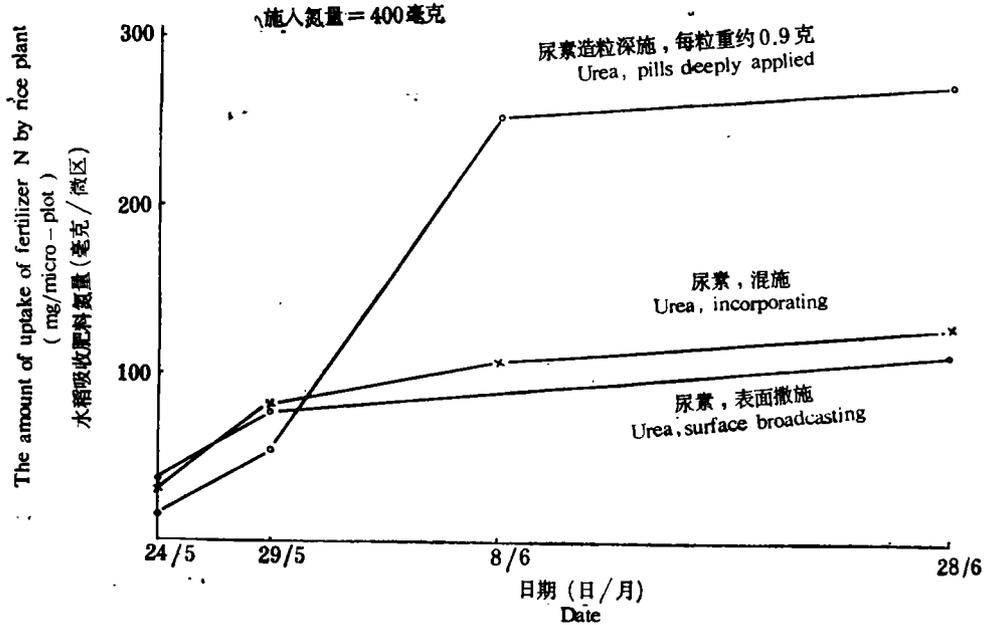


图 6 水稻对肥料氮的吸收过程与施用方法的关系

(前季稻田田间微区试验, 1978年, 微区系为一直径 29 厘米的塑料圆筒埋入土中, 每筒的面积约为万分之一亩)

Fig. 6 The uptake of fertilizer N by rice in relation to the method of its application (Early rice in micro-plot exp. 1978)

还有利于环境保护。

(四) 磷钾的肥效

过去在平田黄泥土上进行的单晚和小麦的田间试验中, 磷钾肥都没有表现出明显的效果^[8]。但近年来在这类土壤上所进行的多次试验都表明, 钾肥对水稻、三麦都开始表现出一定的增产效果, 磷肥在三麦上的效果则更为明显^[5,15]。造成这种情况的原因, 除长期偏施氮肥使养分循环中磷钾大量亏缺以外, 也与改制有密切的关系。

改制后, 土壤结构性变差, 很不利于作物对土壤磷素的早期吸收。所以早稻经常出现缺磷僵苗或迟发的情况。当然早期气温较低, 土壤本身速效磷的水平又不高, 都可以影响磷的吸收, 但土壤结构性变差可能是一个促进因素。根据土壤溶液中磷素的浓度来推算, 水稻或小麦高产所需的总磷量中, 90% 以上的磷是靠扩散作用由土壤移至根面以供根系吸收^[1], 但是磷的扩散距离很短, 为了增加作物的吸磷速率, 就要求根系能够迅速而充分地伸展开来, 以便增大根系的吸收面和磷素到达根面的总量。但是, 改制多年后, 土壤僵板, 结构性差, 水稻根系的伸展较慢, 对小麦的影响可能更大。事实证明, 根系伸展慢不利于作物对土壤磷素的有效利用, 特别是在生长的早期。田间和室内的研究都已表明^[6], 水稻吸收养分在结构性好的土壤比结构性差的土壤中快。

水稻对土壤缓效性钾的利用程度也因改制后而降低。对生长期较长的水稻品种 (如

1) 鲁如坤、朱荫楣、时正元、顾益初, 1979:《太湖地区水稻土肥力研究论文集(摘要)》, 中国科学院南京土壤研究所编。

南优6号和矮落)来说,种稻前后速效钾的减少量只占水稻地上部分累积钾量的46—57%,而两个早稻(广陆矮4号和二九青)则可高达78—87%,这表明早稻对土壤速效钾的依赖程度比单晚和杂优要高得多,换句话说,早稻生长期较短,利用土壤缓效钾的量可能比较少。因此,种植单晚能够满足水稻高产所需钾素的土壤,如改种早稻,则有可能表现钾素供应不足^[5]。

根据统计资料,连作晚稻的钾素营养水平比早稻更差。根据1974—1975年田间试验中一些稻草样品的测定结果,在不施钾肥时,早稻稻草含钾(K)量平均为 $1.54 \pm 0.16\%$ ($n = 8$, 平均值和标准差),与过去单晚稻草的平均含钾量 1.49% ^[2]是十分相近的。但是连作晚稻稻草的平均含钾量却只有 $0.91 \pm 0.18\%$ ($n = 7$),大多低于缺钾的临界值^[5]。这说明,连作晚稻对钾肥的反应比早稻更为明显^[5]。产生这个现象的原因,可能是土壤还原作用增强,以及土壤中缓效钾释放迟缓。

另外,实行双三制后,土壤结构性变差,使烤田不易烤透,也导致水稻对钾肥的反应增大。1977年在无锡县黄泥土上进行的早稻试验中,土壤缓速钾(K)的含量为89ppm,在不烤田的情况下,钾肥表现出明显的增产效果。但通过烤田,提高了根系的吸收能力和累积钾量,钾肥的效果也就不显著了^[5]。所以,在钾肥供应不足的地区,可用烤田措施以促进水稻对土壤中钾素的利用。但是,长期施行双三制后土壤结构性变差,土壤通透性降低,加之双季稻生长期短,适于重烤的时间不长,因此,烤田不易烤透,对土壤钾素的有效利用很为不利。

(五) 双三制高产所需的养分条件

稻麦两熟制改为双季稻三熟制后,在土壤养分供应能力的评价,以及施肥技术的研究和运用中,更加强调养分的速效性。双季稻对氮素供应的要求与过去单晚不同,土壤的稳肥性要低,但要有促进水稻早发的供氮特点。归纳起来有三个要求:(1)土壤不仅要有一定的氮素矿化量,更重要的是要有较高的矿化速率;(2)矿化形成的铵态氮要能迅速地移至根面,以供水稻早期吸收利用;(3)施入氮肥后,土壤中的生物固定作用(有机化)和铵离子的物理化学吸附作用不宜太强,也即是土壤的稳肥性^[5,7]不宜过高。为了满足这些条件,土壤有机质和粘粒的含量不宜太高,结构性和通透性要好。良好的结构性和通透性有利于根系的伸展和土壤脱水烤田,因而也有利于土壤钾素的有效利用。此外,为了便于通过烤田和间歇灌溉以控制后期的氮素营养,有利灌浆成熟,还应具备良好的灌排条件。

双三制可大量增加氮肥用量,加速养分循环,其增产潜力应比两熟制高。但双三制对土壤条件的要求较高,对化肥氮的依赖性更大,对水肥管理的要求更为严格,对磷钾肥的需求较高,对氮素的利用则往往是不经济的。所以,双三制要获得高产并非易事。

结 语

通过在双三制下如何保持和提高土壤肥力的研究,深刻体会土壤渗透性在水稻高产

1) 江苏省吴县农科所1977年资料。

中的重要意义。排水不良的低洼地区虽可种植水稻,但不是良好的水稻土,很难有稳而高的产量。即便是排水良好的水稻土,连续施行双三制,土壤肥力减退是很难避免的。

太湖地区稻麦两熟时的排水条件本来就不很好,普遍施行双三制后,土壤泡水时间比过去多一个半月到两个月,因而土体还原作用加强,耕层下出现青泥,原来的爽水田有向滞水田发展的趋势,囊水田亦有返沤的现象。肥沃爽水田的耕层有“鳝血”斑块,而肥力较低的滞水田和囊水田具有青泥条。鳝血斑和青泥条是评价水稻土肥力的重要标志。据1959年土壤普查结果,在太湖附近的平田地区,具有鳝血层的爽水水稻土的面积约占五分之一至三分之一,施行双三制后,据最近普查结果,鳝血土面积大为减少,而青泥层反而逐渐增加。出现青泥的耕层,如再烂耕烂耙,土壤容易僵板,并致使耕层变浅,犁底层坚实加厚。双三制可引起水稻土形态和类型改变,也可以说引起土壤生态的变化。

在物理性质方面,普遍施行双三制后,土壤团聚体和微团聚体遭受破坏,耕层土壤结构变坏,通气孔隙减少,土壤抗压强度增加,形成不易散碎的僵块。这不仅影响土壤中物理、化学和生物学过程,而且直接影响根系的伸展和穿插。双三制后土壤物理性质恶化的原因,主要在于泡水时间过久,引起土粒分散而粘闭土壤孔隙,致使土壤通透性变差,从而造成土壤水分过多,滞水性加强。在这样的情况下,土体中难以进行干湿交替,有碍良好结构的形成。

实施双三制后,土壤和肥料中养分的有效利用率都降低,土壤和有机肥料中氮素的矿化速率与水稻对氮素的需求产生矛盾,特别是僵板土壤的矛盾更大。双三制中的早稻苗期至分蘖期,由于气温低,土壤和有机质中的氮素矿化速率低,不能满足早稻的需要,不得不大量施用化学氮肥,但至抽穗和灌浆期,气温较高,土壤和有机肥料中的氮素矿化快,而水稻需氮少,因氮素过多反而引起早稻贪青。所以,对早稻来说,化肥氮占总吸入氮的60—70%。另外,双三制引起土壤僵板,不利水稻早期对磷素的吸收,常发生缺磷僵苗。双三制中水稻利用缓效性钾的能力降低,易于出现钾素供应不足,连作晚稻的钾素营养水平更差。僵板土烤田不透对钾素的有效利用更为不利。

从用地养地相结合的原则出发,今后必须加强对水田地区的耕作制度,特别是水旱轮作影响土壤渗透性的研究,这对建设农业现代化有不可忽视的重大意义。

参 考 文 献

- [1] 中国科学院南京土壤研究所苏南调查组,1977:关于太湖地区“吨粮田”的土壤条件。土壤,第6期,247—255页。
- [2] 中国科学院农业丰产研究丛书编委会,1961:丰产水稻的土壤环境。430页,科学出版社。
- [3] 朱兆良、汪祖强、徐银华,1963:土壤氮素供应状况的研究II。土壤学报,第11卷2期,185—195页。
- [4] 朱兆良、蔡贵信、俞金洲,1977:稻田中¹⁵N标记硫酸铵的氮素平衡的研究初报。科学通报,第11期,503页。
- [5] 朱兆良、廖先苓、蔡贵信、俞金洲,1978:苏州地区双三制下土壤养分状况和水稻对肥料的反应。土壤学报,第15卷2期,126—137页。
- [6] 朱兆良、陈荣业、徐永福、徐银华、张绍林,1979:苏州地区平田黄泥土氮素供应过程的特点及其与氮肥施用方法的关系。土壤学报,第16卷3期,219—233页。
- [7] 刘芷宇、朱兆良、陈家坊,1965:陈永康水稻高产经验中看土施肥原则的分析。科学通报,第7期,585—592页。
- [8] 刘茂林、华兆龙、贾根兴,1965:太湖地区黄泥土三要素肥料定位试验。土壤学报,第13卷3期,337—339页。
- [9] 陈家坊、赵诚斋、周正度,1978:苏州地区水稻土僵田块耕层的土壤孔隙特性。土壤,第3期,81—85页。
- [10] 姚贤良、赵渭生、于德芬、许绣云,1978:高产水稻土结构特性的初步研究。土壤学报,第15卷1期,1—12页。

- [11] 陈荣业、范钦楨, 1978: 碳铵粒肥在非石灰性水稻土上深施的氮素供应状况。土壤学报, 第15卷1期, 75—82页。
- [12] 施书莲、程励励、林心雄、束中立、文启孝, 1978: 绿萍的增产和改土作用。土壤学报, 第15卷1期, 54—60页。
- [13] 徐琪, 1975: 谈谈太湖地区水稻土肥力的形态学指标。土壤, 第4期, 162—165页。
- [14] 奚振邦、卞以洁、邝安琪、刘德本、刘明英, 1978: 双季稻的吸肥高峰与挥发性氮肥全层施用法的研究。土壤学报, 第15卷2期, 113—125页。
- [15] 潘遵谱、钱鹤初、吴敬民、许学前、惠茂新, 1979: 小麦磷钾化肥肥效试验总结。土壤, 第2期, 55—61页。

EFFECT OF CROPPING SYSTEM ON THE FERTILITY OF PADDY SOILS

Y. Hseung, Xu Qi, Yao Xian-liang and Zhu Zhao-liang

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

Summary

Soil fertility is the quality that enables the soil to provide and regulate the nutrients and environmental conditions favourable for the plant growth, and it includes all the physical, chemical and biological properties of soils which are closely related to the growth of crops. The fertility level may be taken as a criterion for the productivity of soils; and the combination of reasonable utilization with proper management of soil may be the only way to maintain and promote the high level of soil fertility.

There are two ways to increase production of grains without increasing cultivated area. One is the reinforcement of land productivity through technological innovation, and the another one is the further intensification of land use through double or multiple cropping. However, a cropping system must be suitable for its special natural environment and definite condition of social economy. The cropping system must be various in different soils. A favorable cropping system is also a good measure for the enhancement of soil fertility.

In the southeastern part of China, rice is usually planted in the low land and plain where the winter wheat in double cropping system is not grown quite well due to the poor drainage. In this case, triple cropping system (wheat-rice-rice or green manure-rice-rice) changed from double cropping system (wheat-rice or green manure-rice) will prolong even more the period of submergence and therefore a hanging water gley layer (pseudogley layer) is formed in the plowed sole layer. Furthermore ploughing and harrowing in submergic condition will induce the soil to be more compact and harder after dryness and the fertility will be depressed gradually. The cropping system in relation to the morphological, physical and chemical properties of the soil are discussed in this article.

I. Shallow and compact plowed layer and hanging water gley

Thinning and compacting of the plowed layer of soils have become a general problem as a result of long term practice of triple cropping system. The main reason is the long term waterlogging of the soil due to two harvest of rice annually and leaving no time to plough up the soil in drained condition. Therefore, the soil becomes more and more compact and

rigid gradually and the plowed layer turns thinner increasingly. According to the investigation in 1959, the depth of plowed layer of paddy fields in the area of Tai-lake was generally between 15—17 cm; but recent investigation showed that the depth remained only two thirds of its former depth. Thinning of plowed layer means less nutrients for crop roots, and thickening of plowpan implies the block of percolation and usually induces waterlogging of the soil.

The hanging water gley horizon is an undesirable structure which prevents the circulation of water and air in soil. With such a horizon, upland crops can not have good yield, rice seedling will be slow in turning green after transplanting, and even becomes stunted.

The diminishing of iron-humic coating and the occurrence of gley horizon in plowed layer indicates the deterioration of soil. In 1959, the rice soil with iron-humic coating which is regarded as the main soil of high productivity amounted to 20—30% of their total area, now it has been reduced to less than 10%.

II. Deterioration of soil structure and decline of permeability

It is found that soil becomes compact, creamy and sticky after widely practising triple cropping system. One of the important reasons occurred in this change is destruction of aggregates in plowed layer. In comparison with the results obtained before practising triple cropping system in 1965, the data obtained under the triple cropping system in 1977 showed that the content of micro-aggregates (1—0.05 mm) in plowed layer decreased by 10—20% but the content of finer particles (0.01 mm) increased above 10%. Because of the deterioration of soil structure, the soil was turned into stickiness and glutinosity under submergic condition, and compactness under dry condition. Experimental results showed that within the certain range of the regression line, the compressive strength of dry soil clods increased 1.2 kg/cm² per 1% of clay increase. Compacting of soil clods not only embarrassed tillage of soil, but also prevent the plant root from normal growth in soil.

The another defect of increase of finer particles is the sharp decrease of soil pores which are filled by the fine particles. Compared with the data obtained before the practising of triple cropping system in 1965, the results obtained in 1977 showed that air-filled pore in profile, especially in plowpan, was greatly decreased. Before the practising of triple cropping system there were some, though not so much, aeration pores in plowpan, while after changing to triple cropping system, its aeration porosity remained only about 1%, and it was easily to become glutinous and puddling. The permeability of water in soils was decreased apparently just because of the reason mentioned above. Results obtained in wheat fields showed that the rates of permeability (K_{10}) in plowpan were generally less than 1 mm/min (K_{10} means the rate of permeability measured under the water temperature of 10°C).

In Tai-lake basin, currently, the water capacity of the paddy soils is considerably high in spring, even in the droughty spring of 1976, most of the moisture contents in plowed layer of winter fallow fields or milk vetch fields were over 30% (weight), while the field water capacity of this layer approximated to saturated water content. This indicates that the plowed layer may so easily get to saturation as soon as a small quantity of water enter the soil either from the rainfall or irrigation. Below the plowed layer the natural moisture content always approximates to field water capacity, and the field water capacity approximates to the saturated water content of soils. The excessive moisture in soil rules out the possibility of alternative change of drying and wetting process in soil, by which the good soil structure is formed. It is also unfavourable for tillage and easily induces the soil getting puddling after ploughing and har-

rowing under submergic condition.

III. The efficient utilization of nutrients

In comparison with the late-rice in double cropping system, the amount of soil nitrogen mineralized during the growth of early rice in triple cropping system was considerably lower, owing to its shorter growing period together with a colder climate in its early stage of growth (from the middle of May to early June). The percentage contribution of soil nitrogen to the nitrogen absorbed by the single cropping late-rice (75.9%) was significantly higher than that by early rice (57.8%), and therefore heavy application of chemical nitrogen fertilizer, especially at its early stage of growth, is indispensable for high yield of the early rice.

The investigation of the nitrogen mineralization pattern of the paddy soil in situ showed that an abrupt increase of its mineralization rate appeared in August, which could just meet the need of single cropping late rice for the available nitrogen at the stage of panicle differentiation, while in the case of early rice, the situation was quite different. During its early stage of growth, a lower mineralization rate of soil organic nitrogen was found in paddy soils, of course, it could not match the urgent need of available nitrogen for its rapid growth at that stage. In contrast, at its later stage of growth (from the end of June to early August), the higher mineralization rate usually gave a higher nitrogen content in straw and a lower percentage in grains. That is to say, after converting double-cropping system to triple-cropping system, the nitrogen mineralization pattern of the soil can not match the uptake pattern of rice. The situation was found even more severe in the poor-structured soils than that in the well-structured soils, since the mineralization rate of soil organic nitrogen and the uptake rate of the mineralized $\text{NH}_4\text{-N}$ from soil by rice plants in the early stage of growth were lower in the former than that in the later. This inconsistency in coordination between nitrogen supply and demand greatly influences the efficient utilization of both soil nitrogen and fertilizer nitrogen by the early rice.

The common character of the slow release of nitrogen from organic manures applied in this district has limited to practise the high-yielding cultivation in the triple-cropping system. It is evident from the nitrogen balance sheet of the whole district that the contribution of organic manure to the total income of nitrogen is less than 20%.

Ammonium bicarbonate and urea were the major nitrogen fertilizers applied in the year of 1978, and it was revealed by the field experiment using ^{15}N -labelled chemical fertilizers that the percentage recoveries of ammonium bicarbonate and urea by rice plant were only about one-fourth to one-third under surface-broadcasting or mixing with the soil at transplanting, while the nitrogen losses amounted up to 40—54%. Although the deep placement of ammonium bicarbonate or urea was most effective in improving the utilization of fertilizer nitrogen by rice plant and preventing nitrogen losses, the uptake of fertilizer nitrogen by rice seedlings at the early growing stage was considerably delayed, especially in poor-structured soils.

As a result of deterioration of soil structure, the root extending rate and hence the phosphate uptake rate of the early rice were significantly retarded at its early stage of growth, this is partly responsible to the stunted growth of early rice at that stage.

Pot experiment also showed that the ability of early rice to exploit the slow-release potassium of soil was considerably lower than that of single cropping late rice. Furthermore, drainage in the middle growing stage was favorable to the uptake of potassium by early rice, but the lower percolating rate of soil, together with a much shorter period suitable for drainage,

restricted the decrease of soil water content to an expected extent, and the beneficial effect of the drainage was thus limited. Those mentioned above are the factors that lead the better response of rice to potassium fertilizer in the triple-cropping system.

It is concluded that although the triple cropping system of rice-rice-wheat, as compared with the double cropping system of rice-wheat, has a higher potentiality of productivity, but the low efficiency of soil-N, and fertilizer-N as well as the limitation of the effect of organic manures will restrict to acquire high yields in triple-cropping system, and the consumption of nitrogen, phosphate and potassium fertilizers are significantly increased.



照片 1 滞水水稻土
Fig. 1 Stagnating paddy soil



照片 3 囊水水稻土
Fig. 3 Waterlogged paddy soil



照片 2 爽水水稻土
(鱗血黄泥土)
Fig. 2 Permeable paddy soil



照片 4 鱗血斑块
Fig. 4 Rice soil with iron-humic coating