

垄作免耕下稻田土壤团聚体和水热状况变化的研究

魏朝富 高明 车福才 邓春

(西南农业大学土化系)

摘 要

本文研究了垄作免耕下稻田土壤团聚体和水热状况的变化。结果表明：垄作免耕下的稻田土壤， $< 0.01\text{mm}$ 土粒团聚度有增大的趋势，其中 $> 0.01\text{mm}$ 无机微团聚体和 $> 0.01\text{mm}$ 级铁、铝-有机微团聚体所占的比例表现为不同程度的提高，而 $> 0.01\text{mm}$ 级钙、镁-有机微团聚体显著下降；土壤水热状况处于新的协调状况促进了土壤潜在肥力的发挥。

稻田垄作免耕是近年来发展起来的一种新型免耕法。稻田起垄植稻，垄沟浸润灌溉，改变了稻田表面微地形特征，长期垄作免耕，可比较好地解决稻田长年积水，土壤冷浸下湿，还原性有毒物质聚积，光、热、水、土资源利用率低的问题，为合理开发稻田资源创造了物质基础，大面积的增产，增值十分显著^[1,2]。本文初步研究了垄作免耕下稻田土壤团聚体和水热状况的变化。

一、材料与方 法

(一) 供试土壤 试验田设置在西南农业大学实习农场，土壤为侏罗系沙溪庙组紫色砂泥岩母质发育的灰棕紫泥田(即为深度潜育性水稻土，俗名又称深脚泥田)。

(二) 田间试验 1. 垄作免耕：拉线作垄，垄高 20cm，垄面宽 24cm，垄沟宽 36cm，作物为水稻—蔬菜(或豌豆)连作。试验时间三年。2. 垄作翻耕：插秧前五天起垄，插秧前和水稻收获后各耕翻一次，作物为水稻—细绿萍。3. 平作免耕：作物为水稻—细绿萍。4. 平作翻耕：插秧前和水稻收获后各耕翻一次，作物为水稻—细绿萍。

(三) 测定方法 1. 团聚体：水稻土水稳性微团聚体有两种类型，一种是缺乏有机胶体的无机微团聚体；另一种是由有机胶体团聚的有机微团聚体^[3]。无机微团聚体主要是经土壤中的粘粒矿物，铁、铝氧化物等无机胶体凝聚而成的，对化学试剂具有较强抵抗性。有机微团聚体是通过土壤中存在的钙、镁、铁、铝等离子或其氧化物胶体的土粒同有机质结合在一起的，其中由二价离子与三价离子或其氧化物键桥联结的，它们的稳定性具有较大差异。由钙、镁等二价离子键桥联结的有机微团聚体稳定性相对较差，引入钠离子时，钙、镁-腐殖质价键就会断裂，导致微团聚体解体。由铁、铝-腐殖质联结的微团聚体相对牢固，不能被钠离子拆开^[4]。碱性焦磷酸钠溶液能使铁、铝-腐殖质全部浸提出来，但对其他七机态铁化合物溶解极为微弱^[5]基于以上论点，用蒸馏水，1N 氯化钠和 0.3mol 焦磷酸钠分别浸泡原状土 1 昼夜，振荡 2 小时，然后测定其团聚体(即为水稳性团聚体，钠稳性团聚体和焦磷酸钠稳性团聚

体)的大小和分布,并以下列式计算水稳性团聚体中无机微团聚体、有机微团聚体、钙和镁-有机微团聚体及铁铝-有机微团聚体的含量。

- (1) $<0.01\text{mm}$ 土粒团聚为 $>0.01\text{mm}$ 水稳性团聚体总量 = $>0.01\text{mm}$ 水稳性团聚体 - $>0.01\text{mm}$ 机械组成
- (2) $<0.01\text{mm}$ 土粒团聚度 = $\frac{>0.01\text{mm}$ 水稳性团聚体 - $>0.01\text{mm}$ 机械组成}{ $<0.01\text{mm}$ 土粒(机械组成)} \times 100
- (3) 无机微团聚体 = $\frac{>0.01\text{mm}$ 焦磷酸钠稳性团聚体 - $>0.01\text{mm}$ 机械组成}{ $>0.01\text{mm}$ 水稳性团聚体 - $>0.01\text{mm}$ 机械组成} \times 100
- (4) 有机微团聚体 = $\frac{>0.01\text{mm}$ 水稳性团聚体 - $>0.01\text{mm}$ 焦磷酸钠稳性团聚体}{ $>0.01\text{mm}$ 水稳性团聚体 - $>0.01\text{mm}$ 机械组成} \times 100
- (5) 钙、镁-有机微团聚体 = $\frac{>0.01\text{mm}$ 水稳性团聚体 - $>0.01\text{mm}$ 钠稳性团聚体}{ $>0.01\text{mm}$ 水稳性团聚体 - $>0.01\text{mm}$ 机械组成} \times 100
- (6) 铁、铝-有机微团聚体 = $\frac{>0.01\text{mm}$ 钠稳性团聚体 - $>0.01\text{mm}$ 焦磷酸钠稳性团聚体}{ $>0.01\text{mm}$ 水稳性团聚体 - $>0.01\text{mm}$ 机械组成} \times 100

2. 土壤水分用重量法;水分张力用张力计法;容重用环刀法;机械组成用吸管法。

3. 土壤温度用 XWC 系列长图自动温度记录仪。

二、结果与讨论

(一) 垄作免耕下稻田土壤水稳性团聚体特征

如表 1 所示,试验田土壤 $>0.001\text{mm}$ 水稳性微团聚体的数量较高,经三年垄作免耕试验表明:垄作高于平作土壤;垄作免耕土壤最高;平作翻耕土壤最低;而免耕与翻耕土壤相比较它们之间的差异甚小。因此,一般淹水状况下的翻耕土壤,其游离态的粘粒较

表 1 垄作免耕下稻田土壤水稳性团聚体特征

Table 1 Effect of no-tillage culture for 3 years on waterstable aggregates in paddy soil

处 理 Treatment	土壤深度 (cm) Depth	$>0.01\text{mm}$ 土粒 (%) Physical clay	水稳性团聚体(%) Waterstable aggregates			
			$>0.01\text{mm}$	$>0.001\text{mm}$	$>0.01\text{mm}$ 水稳性团聚 体总量	$<0.01\text{mm}$ 土粒团聚度
垄作免耕 (三年)	0—10	44.5	92.8	98.7	48.	87.0
	10—20	38.9	90.1	98.0	51.2	83.8
	20—30	43.9	89.6	98.8	45.7	81.5
	垄沟	42.4	90.6	98.7	48.2	83.7
垄作翻耕 (三年)	0—10	52.4	91.7	98.4	39.2	82.6
	10—20	51.8	91.8	98.2	43.0	83.0
平作免耕* (三年)	0—10	46.5	92.1	96.7	45.6	85.2
	10—20	46.3	90.5	97.3	44.2	82.3
平作翻耕* (三年)	0—10	39.8	90.1	95.3	51.1	84.9
	10—20	40.6	89.9	96.5	49.3	83.0

* 均为淹水状况。

多。

从表 1 还可看出, $> 0.01\text{mm}$ 的水稳性团聚体,在几种处理中无明显变化。但由于 $< 0.01\text{mm}$ 的土粒团聚度(它们已消除机械组成对团聚状况的影响^[10]),表现有一定的变化,如垄作免耕表层土壤 $< 0.01\text{mm}$ 土粒团聚度比垄作翻耕土壤高出 4.4%,比淹水平作土壤分别高 1.8% 和 2.1%。所以,我们认为处于长期免耕浸润状况的垄埂土壤是具有促进水稳性团聚体形成的效应^[6]。

(二) 垄作免耕下稻田土壤水稳性团聚体的组成

垄作免耕不仅影响到土壤水稳性团聚体的数量,而且也改变了水稳性团聚体的组成,即无机微团聚体、有机微团聚体、钙镁-有机微团聚体和铁铝-有机微团聚体的数量以及他们之间的数量关系(表 2)。垄作免耕使水稻土 $> 0.01\text{mm}$ 水稳性微团聚体总量中,无机微团聚体的含量明显增加,有机微团聚体的比例相对下降。同淹水平作免耕比较,垄作免耕的土壤表层 0—10cm 其无机微团聚体含量高 8.7%。

表 2 垄作免耕下稻田土壤水稳性团聚体的组成特征

Table 2 Effect of no-tillage ridge culture for 3 years on waterstable aggregate composition in paddy soil

处理 Treatment	土壤深度 (cm) Depth	$> 0.01\text{mm}$ 钠稳性团聚体 (%) $> 0.01\text{mm}$ Sodium Stable aggregate	$> 0.01\text{mm}$ 焦磷酸钠稳性 团聚体(%) $> 0.01\text{mm}$ Sodium Pho- sphate stable aggregate	$> 0.01\text{mm}$ 水稳性团聚体(%) $> 0.01\text{mm}$ Waterstable aggregate			
				无机微团聚体	有机微团聚体	钙镁-有机 微团聚体	铁铝-有机 微团聚体
垄作 免耕	0—10	89.7	56.1	25.4	74.6	6.4	68.2
	10—20	86.4	56.5	24.4	75.6	7.2	68.4
	20—30	86.4	54.8	23.9	76.1	7.0	69.1
	垄沟	85.8	53.3	22.6	77.4	10.2	67.2
垄作 翻耕	0—10	87.3	63.0	27.0	73.0	11.2	61.8
	10—20	83.6	60.6	20.5	79.5	16.0	63.5
平作 免耕	0—10	85.1	54.1	16.7	83.3	15.4	67.9
	10—20	84.0	54.2	17.9	82.1	14.7	67.4
平作 翻耕	0—10	82.6	51.9	23.6	76.4	16.2	60.0
	10—20	82.2	51.7	22.5	77.5	15.6	61.9

有机微团聚体中,垄作免耕土壤的钙、镁-有机微团聚体的含量明显下降,尤其是表层土壤(0—10cm),变化最明显,仅占有机微团聚体的 8.6%;占 $> 0.01\text{mm}$ 水稳性团聚体总量的 6.4%,比垄作翻耕,平作免耕和平作翻耕分别低 4.8%、9.0% 和 9.8%。铁、铝-有机微团聚体的含量有增加的趋势,占有机微团聚体的 90% 以上;占 $> 0.01\text{mm}$ 水稳性团聚体总量的 68.2%,比垄作翻耕、平作免耕和平作翻耕分别高 6.6%、0.5% 和 8.4%。垄作免耕土壤水稳性团聚体组成的变化是与土壤环境的改善有密切关系。免耕垄作促进了土壤有机质分解,可使部分有机微团聚体解体,一些土粒有可能转化为无机微团聚体,所以,无机微团聚体在 $> 0.01\text{mm}$ 水稳性团聚体总量中的相对含量增加;同时,非腐殖质物

表 3 垄作免耕下稻田土壤结构

Table 3 Effect of no-tillage ridge culture on paddy soil structure

处 理 Treatment	土壤深度 Depth (cm)	浸水容重 Waterlogging bulk density (g/cm ³)	自然状况容重 Natural bulk density (g/cm ³)	干燥状况容重 Dry bulk density (g/cm ³)	收缩量 Shrinkage (g/cm ³)
垄作 免耕	0—10	0.453	0.889	1.480	0.591
	10—20	0.404	0.904	1.499	0.595
	20—30	0.430	0.914	1.427	0.513
平作 免耕	0—10	0.401	0.789	1.528	0.739
	10—20	0.372	0.850	1.484	0.633
	20—30	—	0.882	1.526	0.644

质的分解,可以使土壤腐殖质的含量提高低铁氧化而形成新的铁、铝-腐殖质复合体。

垄作免耕对稻田土壤水稳性团聚体的垒结状况产生了良好的影响(表 3)。土壤浸水容重,在自然状况下土壤容重增大,土体构型由松散状况向紧持状况变化,使稻田土壤在淹水状况下的整体分散取得改善;土壤收缩性的降低,反映了土壤结构孔隙的大量发育,为调节土壤水、热、肥、气状况奠定了基础。

(三) 垄作免耕下稻田土壤的水分状况

垄作免耕改变了稻田的淹水状况,土壤部分出露水面为毛管水所浸润,垄埂土壤中水分变动状况见表 4。水分的渗漏,农作物根系的吸收及蒸发蒸腾使得土壤不同部位的水分状况存在显著的差异性,就垄埂土壤而言,总体上表现为表层土壤水分低,两侧水分高,各部位水分变异性明显,其中,垄埂表层 5cm 内的水分含量较低,变异性最大,而垄埂两侧土壤水分含量高,变异性较小。所以,垄埂是水分运动最强烈的地方,水分直接向大气蒸发。水分张力变动的情况(表 5)是表面层张力大,从垄表顶向下依次降低,因此,就形成由张力小的垄下部及垄两侧的土层向垄表土层运行的毛管水运动系统。

平作免耕土壤因处于淹水状况,属于水分饱和状态,所以,表层的水分张力为零,土体

表 4 垄作免耕下稻田土壤水分的空间变异性*

Table 4 Effect of no-tillage ridge culture on moisture space variability in paddy soil

处 理 Treatment		变 量 指 标 Variable index			
		样本数 Sample (n)	平均值 Mean value (%)	标准差 Standard deviation	变异系数 Coefficient of variability (%)
垄作 免耕	整剖面	90	77.8	9.6	12.3
	垄沟	28	82.1	10.5	12.7
	垄埂中心	47	77.5	10.1	13.0
	垄埂东侧	26	78.4	10.8	13.8
	垄表(5cm)	35	76.3	11.9	15.6
平作 免耕		15	84.8	2.9	3.4

* 测定时间 1986 年 6 月 3 日 15:00 时。

表 5 垄作免耕下稻田土壤水分张力的时间变异*(毫米汞柱)

Table 5 Effect of no-tillage ridge culture on moisture tension time variability in paddy soil (mmHg)

处 理 Treatment	深 度 Depth (cm)	时 间 Time				
		8.00	10.00	12.00	14.00	16.00
垄作免耕	0-5	32	34	40	45	35
	5-15	15	16	22	22	20
平作免耕	0-5	0	0	0	0	0
	5-15	10	15	20	15	15

* 测定时间 1986 年 6 月 3 日。

表 6 垄作免耕下稻田土壤热性质

Table 6 Effect of no-tillage ridge culture on thermal property of paddy soil

处 理 Treatment	热容量 C_p ① (焦耳/度·厘米 ³) heat capacity (J/°C·cm ³)	导温率 K ② (厘米 ² /秒) Thermal diffusion (cm ² /s)	导热率 λ ③ (焦耳/厘米·秒·度) Heat Conductivity (J/cm·s·°C)
垄作免耕	3.29	8.42×10^{-3}	27.70×10^{-3}
平作免耕	3.51	4.16×10^{-3}	14.60×10^{-3}
水 体	4.18	1.50×10^{-3}	6.27×10^{-3}

① 热容量 $C_p = P_s(0.17 + \theta_w)$ 式中 P_s 为容重, θ_w 为容积水分含量② 导温率 $K = \frac{M}{N}$ 式中: $M = 26.67(0.06\Delta T_0 + \Delta T_0 + 1.62\Delta T_{10} + \Delta T_{10} + 0.06\Delta T_{10})$ (度·厘米³) $N = 6 \left(\frac{D_0 + D_{20}}{2} + D_{10} + D_{10} + D_{10} \right)$ (度·小时) $\Delta T_0, \Delta T_{10}, \dots$ 为各深度 20 时与 8 时的温度差, D_0, D_{10}, \dots 为各时间土温分布的特征量 $D = \frac{T_0 + T_{20}}{2} - T_{10}, T_0,$ T_{10}, T_{10} 为各深度土温。③ 导热率 $\lambda = C_p \cdot K$

内张力却较大;土壤剖面的水分变异性小,水分运动较缓慢。

(四) 垄作免耕条件下稻田土壤热学特征

土壤温度状况是取决于地表微地形对太阳辐射能的再分配和土壤热学特征的变异等因素。温度的空间时间上变异,又是和土壤内热传导以及物质的移动,尤其是与土壤水分和空气运行不断更替密切相关。因此,从某种意义上讲,土壤温度在空间和时间上的变异,是能够反映土壤热运动的势能。

垄作免耕土壤出露水面,消除了水层对太阳能的消弱作用(表 6),土壤热容量低于淹水平作土壤及水体,导温率¹⁾和导热率却比淹水平作土壤和水体高。并且土壤吸收的热量

1) 南京气象学院气象系气候教研组,1979:《小气候》试用教材,上册。

表 7 垄作免耕下稻田土壤的热通量(焦耳/厘米²·分钟)*
Table 7 Effect of no-tillage ridge culture on heat flux in paddy soil (J/cm²·min)

处 理 Treatment	时 间 Time			
	8.00—11.00	11.00—14.00	14.00—17.00	17.00—20.00
垄作免耕	0.36	0.87	0.88	0.49
平作免耕	0.04	0.29	0.59	0.33

* 某时段 ($t_2 - t_1$) 内由土壤表面输入(或输出)土中 0—20cm 的热通量¹⁾

$$Q_s = \frac{C_p}{\Delta t} \left(S_1 - \frac{K}{10} S_2 \right)$$

$$S_1 = 20(0.082\Delta T_0 + 0.333\Delta T_5 + 0.175\Delta T_{10} + 0.156\Delta T_{15} + 0.004\Delta T_{20})$$

$$S_2 = \frac{\Delta t}{2} [T(20, t_1) - T(10, t_1) + T(20, t_2) - T(10, t_2)]$$

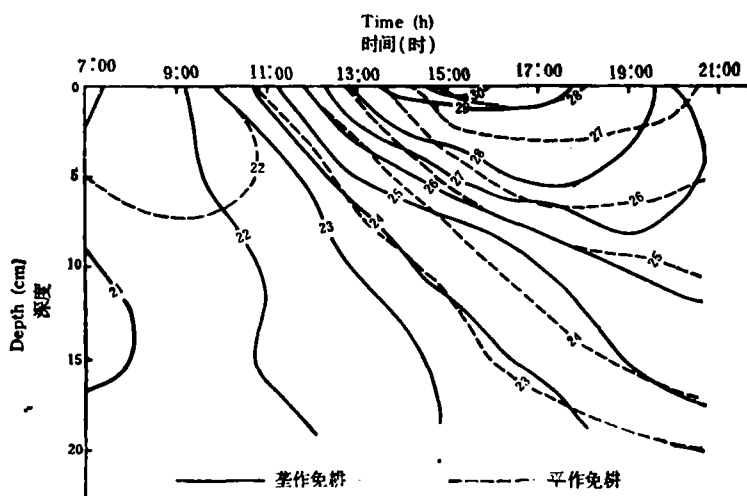


图 1 稻田土壤的温度日变化特征

Fig. 1 Diurnal change of soil temperature in paddy fields

多,传导快,热通量高(表 7),能迅速增加土壤温度,贮藏更多的热能,一般可影响到 20cm 以下的土层温度,而且能保持相当的变化幅度(图 1)。土体内温度变化频繁,垄埂表面上的土温日变幅可达 3—6℃,土壤热运动强。

平作免耕土壤,土壤吸收的热量显然要低,增温较慢,并且涉及土壤的深度亦浅一些,例如土壤深度至 10cm 以下的土层,其温度就只有微小变化,至 20cm 的土层就趋于稳定。

参 考 文 献

- [1] 侯光炯等,1987: 水田自然免耕技术综合研究报告。西南农业大学学报增刊,总 4 期,46—65 页。
- [2] 曾觉廷等,1986: 半旱式耕作制的土壤物理状况研究。西南农业大学学报,第 2 期,1—10 页。
- [3] 熊毅等,1983: 土壤胶体——土壤胶体的物质基础。167 页和 351 页,科学出版社。
- [4] 熊毅等,1985: 土壤胶体——土壤胶体研究法。51 页,科学出版社。

- [5] 魏朝富,1987: 四川盆南土壤结构的研究。西农科技,第3期,240—241页。
[6] 魏朝富,1987: 毛管水浸润对土壤团聚体的影响。西南农业大学学报增刊,总4期,136—140页。

STUDY ON SOIL AGGREGATE AND SOIL MOISTURE-THERMAL REGIME IN PADDY FIELD UNDER NO-TILLAGE AND RIDGE CULTURE

Wei Chaofu, Gao Ming, Che Fucui and Deng Chun

(Department of soil science and Agrochemistry, Southwest agricultural university)

Summary

Study on soil aggregate and soil moisture-thermal regime in paddy field under no-tillage and ridge culture was carried out in east Sichuan Province in 1985—1987. The results indicated that under no-tillage condition of paddy soil the aggregates of <0.01 mm tended to be increased in the aggregates the mineral microaggregates and Fe, Al-organic microaggregates of <0.01 mm increased in various extent while Ca, Mg-organic microaggregate of <0.01 mm significantly decreased.

Under such condition, the soil was in a new and harmonic state, which would accelerate the promotion of potential soil fertility.