

稻田长期垄作免耕对水稻产量及土壤肥力的影响研究

高明, 张磊, 魏朝富, 谢德体
(西南农业大学资源环境学院, 重庆 400716)

摘要:不同耕作条件下的水稻生长发育、作物产量及土壤肥力状况的研究表明, 稻田长期垄作免耕, 水稻根系数量、白根率、根系活力比常规平作和水旱轮作高, 分蘖时间早; 垄作免耕水稻的株高、茎粗、穗长、穗粒数增加, 11 年水稻平均产量垄作免耕比常规平作和水旱轮作分别提高了 10.3% 和 11.3%。垄作免耕改变了土壤的物理、化学性状, 土壤容重、土壤养分含量明显提高, 土壤微生物数量和酶活性增强, 土壤表层松结态腐殖质含量比常规平作和水旱轮作高 0.194 和 0.238 个百分点, 紧结态腐殖质降低 0.098 和 0.037 个百分点。垄作免耕有利于提高作物产量、培肥地力、改善土壤生态环境。

关键词: 稻田; 垄作免耕; 水稻产量; 土壤肥力

中图分类号: S345; S158.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1008-505X(2004)04-0343-06

Study of the changes of the rice yield and soil fertility on the paddy field under long-term no-tillage and ridge culture conditions

GAO Ming, ZHANG Lei, WEI Chao-fu, XIE De-ti
(College of Resou. and Environ., South-west Agric. Univ., Chongqing 400716, China)

Abstract: The changes of rice growth, its yield and the soil fertility with different tillage systems of 11 years were studied. The result showed that the amount of root, rate of white root and root activity in no-tillage and ridge culture treatment were higher than that in conventional tillage and rotation of paddy and upland treatments, and had an early tiller time. The plant height, stem diameter, spike length and grains per spike of no-tillage and ridge culture treatment were also higher than in conventional tillage and rotation of paddy and upland treatments, and the average yield of 11 years increased by 10.3% than conventional treatment, and by 11.3% than rotation of paddy and upland treatment. Furthermore, the long-term of no-tillage and ridge culture treatment improved the physic-chemical properties, the soil bulk density and the contents of soil nutrients increased. The same situation could be seen at the quantity of the soil microbe and the activity of soil enzymes when comparing the no-tillage and ridge culture treatment with the other mentioned ones. Moreover, in the up-layer soil of the no-tillage and ridge culture treatment, the loosely combined humus was higher by 0.194 percentage point than that of the conventional treatment, and by 0.238 percentage point than that of the rotation of paddy and upland treatment. On the other hand, the quantity of tightly combined humus in the former treatment was lower by 0.098 percentage point and 0.037 percentage point than that of the conventional treatment and the rotation of paddy and upland treatment, respectively.

Key words: paddy field; no-tillage and ridge culture; rice yield; soil fertility

收稿日期: 2003-07-01 修改稿收到日期: 2003-08-28

基金项目: 国家自然科学基金重点项目 (40231016) 资助。

作者简介: 高明(1965—), 男, 重庆人, 博士, 副研究员, 主要从事土壤肥力和土地资源方面的研究。

在有机物补充不足的情况下,长期耕翻导致土壤有机质矿化加剧,结构的稳定性破坏,同时地表受雨水冲击,引发水土流失,致使土壤肥力下降,作物产量降低^[1-2]。免耕具有保土、节约能源等优点,近60年来,国内外就免耕对土壤物理化学性质的影响进行了研究^[1-7]。关于稻田长期免耕对水稻生长发育的影响,免耕条件下水稻同化物质运转、免耕稻田的生态环境演变与土壤内部物质变化也有许多的报道^[4-13]。但是,紫色水稻土区稻田长期垄作免耕对水稻生长发育、产量及土壤肥力的影响研究报道却不多。为此,我们在长期定位试验基础上,研究了经11年22茬不同耕作管理后水稻的产量及土壤肥力性状的变化,旨在为紫色丘陵水稻土区可持续农业发展中的合理耕作和培肥提供科学依据。

1 材料与方法

试验位于重庆市北碚区西南农业大学试验农场,1990年开始实施长期定位试验。该生态区属亚热带季风气候,年平均降雨量为1105mm,常年平均温度18.30℃,年日照1276h。土壤为中生代侏罗系沙溪庙组灰棕紫色沙泥岩母质上发育的中性紫色水稻土。试验前土壤的基本性状为:pH 7.1,有机质23.1 g/kg,全N 1.74 g/kg,全P 0.75 g/kg,全K 22.7 g/kg,碱解N 120.1 mg/kg,速效P 7.5 mg/kg,速效K 71.1mg/kg,物理性砂粒447.4g/kg,物理性粘粒144.2g/kg。

试验共设4个处理:1)常规平作(中稻—冬水田),按传统方法每年三犁三耙翻耕植稻,水稻收获后灌冬水;2)冬水免耕(中稻—冬水田),作垄方法为:拉线起垄,将垄沟的土壤抱在垄埂上,垄面不宜用手抹平,尽量保持土壤结构,一垄一沟55cm,垄顶宽25cm,沟宽30cm,沟深35cm,水稻植在垄埂的两侧,每垄栽2行,每小区作5垄,水稻收获后免耕灌冬水;3)垄作免耕(中稻—小麦或油菜),全年不翻不耕,作垄方法同处理2,水稻收获后种小麦,小麦生长期间,降低垄沟水位,保持浸润灌溉,第二年小麦收后灌水种植水稻;4)水旱轮作(中稻—小麦或油菜),按传统方法水稻平作,水稻收获后,放干田内的水翻耕种小麦,小麦收获后灌水犁耙种水稻。

每个处理小区面积为20m²,4次重复,随机区组排列。各处理的施肥量均为:尿素273.1 kg/hm²;过磷酸钙500.3 kg/hm²;氯化钾150.1 kg/hm²。每年的小麦和水稻都是过磷酸钙作底肥一次施用;尿素用量的2/3作底肥,1/3作追肥;氯化钾

底肥和追肥各半。1990~1997年处理3、4采取水稻—小麦轮作,1998年后改变为水稻—油菜轮作。2000年9月上旬水稻收获后,在各处理区中按0—10、10—20、20—30、30—40cm分4层取样。土样经风干磨细分别过1mm和0.15mm筛,供分析测定。

土壤养分均采用常规分析法测定^[14],

2 结果与分析

2.1 稻田长期垄作免耕对水稻生长发育的影响

2.1.1 对水稻根系的影响 垄作免耕的土壤生态系统明显不同于淹水平作的土壤环境^[15],因而对根系生长必然产生不同的影响。2000年各处理水稻生育期根系测定结果表明(表1),水稻在整个生育期中,根以垄作免耕处理最长,其次为水旱轮作,常规平作最短;在水稻生长最旺盛的拔节期根长差异最为明显,垄作免耕处理比常规平作和水旱轮作处理分别增加39.0%和21.3%。分蘖末期~拔节初期是水稻由营养生长过渡到生殖生长的阶段,此时需要的水分和养分较多,根长、根多有利于吸收土壤深处的养分,有利于为地上部分健壮生长提供充足的营养。

表1还看出,各处理每穴水稻的总根数变化趋势与根长基本相同,在整个生育期各处理总根数呈抛物线消长,在拔节期达到最高值,以后随着水稻抽穗成熟,根系衰老,根数逐渐减少。白根数占总根数的百分率是衡量根系活力的一个重要指标,长期垄作免耕处理根系的白根率一直高于常规平作和水旱轮作处理,分蘖期最高,乳熟期最低。这与垄作免耕水稻根系的 α -萘胺生物氧化量高于常规平作和水旱轮作,在分蘖期生物氧化量最高,随着水稻生长的进程逐渐降低(表2)的结果相吻合。表明长期垄作免耕有利于增强水稻根系的活力。

2.1.2 对水稻分蘖动态的影响 各处理以垄作免耕水稻分蘖出现的时间早,分蘖速度快,分蘖达到最高峰的时间比常规平作和水旱轮作提前了3~5d,但后期垄作免耕处理的分蘖就不如水旱轮作多(图1)。据研究,幼穗分化始期的苗数最高,以后开始下降,表明进入生殖生长^[11]。可见,垄作免耕比常规平作和水旱轮作先进入生殖生长。

2.1.3 水稻群体性状分析 表3可见,垄作免耕处理的群体表现最佳,其株高、剑叶长、穗长、穗粒数分别为101.0cm、32.3cm、23.8 cm和172.1粒/穗,均比其它处理高;有效穗以水旱轮作和常规平作高,均为9.5穗/穴,千粒重以冬水免耕最高,但每个处理

间差异不显著。垄作免耕虽然每穴有效穗不及常规平作高,但由于垄作免耕处理种植密度比常规平作和水旱轮作高,因而总穗数较高,使垄作免耕处理分蘖和每穴有效穗比常规平作和水旱轮作偏低。

表 1 不同处理对水稻根系生长的影响

Table 1 The effect of different treatments on the growth of the rice root

处理 Treatment	分蘖期 Tillering stage			拔节期 Jointing stage			抽穗期 Heading stage			乳熟期 Milk-ripe stage		
	RL	RN	RWR	RL	RN	RWR	RL	RN	RWR	RL	RN	RWR
	(cm)	(No.)	(%)	(cm)	(No.)	(%)	(cm)	(No.)	(%)	(cm)	(No.)	(%)
CT	22.7	218	31.5	29.5	245	16.7	31.2	238	15.4	27.5	187	7.8
NTF	25.0	293	37.2	37.6	358	25.4	38.8	335	20.6	31.2	225	9.5
NTR	27.5	316	44.7	41.0	390	23.8	43.5	355	21.5	33.6	247	11.2
RPD	23.3	275	35.3	33.8	340	22.6	35.4	292	18.3	28.8	204	9.3

CT:常规平作 Conventional tillage;NTF:冬水免耕 No-tillage and fallow in winter;NTR: 垄作免耕 No-tillage and ridge culture;RPD:水旱轮作 Rotation of paddy and upland. RL: 根长 Length of root;RN: 单株根数 Number of root(per plant);RWR: 白根率 Rate of white root. 下同 Same as follows.

表 2 不同处理对水稻根系活力的影响

Table 2 Effect of different treatments on root activity

处理 Treatment	α -萘胺生物氧化量[g/(h·g),FW] Oxidative quantity of α -NA		
	分蘖期 Tillering	拔节期 Jointing	收获期 Harvesting
CT	32.7	25.4	8.9
NTF	35.5	28.5	40.5
NTR	37.8	30.3	11.7
RPD	35.2	26.6	9.4

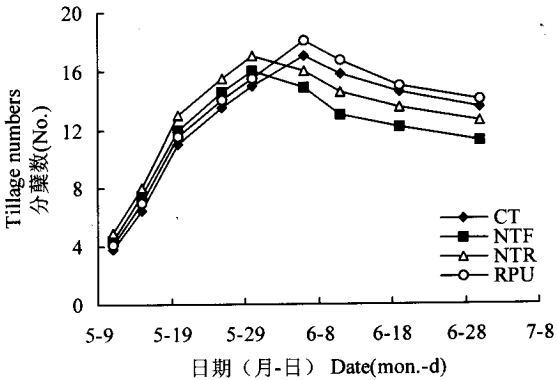


图 1 不同处理水稻分蘖动态

Fig. 1 Dynamic of rice tiller with different treatments

表 3 不同处理对水稻主要经济性状的影响

Table 3 Effect of different treatments on economical characters of rice

处理 Treatment	株高 Height	茎粗 Diameter	剑叶长 Length of flag leaf	穗长 Length of spike	有效穗 Effective spikes	穗粒数 Grains per spike	千粒重 1000-grains (g)
	of plant	of stem	of flag leaf	of spike	spikes	per spike	
	(cm)	(mm)	(cm)	(cm)	(No.)	(No.)	(g)
CT	82.2	4.7	27.5	20.2	9.5	119.8	27.4
NTF	98.4	5.8	31.7	23.0	9.3	156.5	28.1
NTR	101.0	6.5	32.3	23.8	9.2	172.1	27.7
RPD	98.7	6.8	31.9	23.0	9.5	161.3	26.7

2.2 稻田长期垄作免耕对作物产量的影响

11 年试验结果(表 4)表明,不同耕作处理在水稻、小麦或油菜产量上有一定差异。分析比较各处理每年间的水稻产量和 11 年的平均产量可知,垄作免耕处理的水稻产量最高,依次为冬水免耕、水旱轮作和常规平作,11 年的平均水稻产量垄作免耕比水旱轮作和常规平作分别高 11.3% 和 10.3%。2000

年水稻产量经方差分析,各处理间达到极显著的差异水平,这与王昌全等^[16]报道的结果相似。相同处理不同年份水稻产量差异也较大,如垄作免耕 1996 年达 10701kg/hm²,而 1998 年只有 6343 kg/hm²,4 个处理的年际水稻产量变异系数在 14.3% ~ 17.3% 之间,这与品种和气候条件有关。

表 4 不同处理对作物产量的影响 (kg/hm²)

Table 4 Effect of different treatments on yield of crops

年份 Year	CT	NTF	NTR		NPD	
	水稻	水稻	水稻	小麦(油菜)	水稻	小麦(油菜)
	Rice	Rice	Rice	Wheat(Rape)	Rice	Wheat(Rape)
1990	6798	7539	7587	—	7108	—
1991	6949	7390	7471	2149	6858	1864
1992	7941	7768	8326	2655	7953	2559
1993	6315	6652	6901	2578	6142	2443
1994	6391	7471	7053	3391	7728	3042
1995	6505	6306	6831	1918	6288	2980
1996	9345	9957	10701	3253	9519	2913
1997	8700	9300	10044	1756	8644	2112
1998	7032	6687	6343	1150	5982	1287
1999	7753	8704	8829	1102	7678	1239
2000	6208	8292	8872	1203	6834	1297
平均 Mean	7267	7824	8088	2116	7339	2173
标准差 Sd	1039.9	1144.1	1400.4	842.4	1096.2	722.6
C. V (%)	14.3	14.6	17.3	39.8	14.9	33.3

2.3 稻田长期垄作免耕对土壤肥力的影响

2.3.1 对土壤容重的影响 土壤容重在一定程度上可以反映土壤水分的多少和土壤结构的稳定状况。长期淹水的土壤,土粒分散,结构差,土壤容重偏低,易造成水稻浮秧或秧苗不稳逐渐向下坐兜。2000 年水稻生长期对各处理小区测定结果(表 5)看出,稻田垄作免耕与水旱轮作十分相似,消除了水层对土壤结构的不良影响,土壤颗粒逐渐团聚,使土壤容重明显增加。垄作免耕处理 0—10 和 10—20cm 土层的自然状况下的容重比常规平作分别增加了

22.1%和 31.4%;水旱轮作分别增加了 23.4%和 32.6%。表明土体构型由松散状况向紧持状况变化,使稻田土壤在淹水下的整体分散得到改善,这与前人的研究吻合^[13,15-16]。自然状况与干燥状况的容重差值在一定程度上可以反映土壤结构的稳定性^[17]。从表 5 还看出,垄作免耕各土层的容重收缩量比常规平作小,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。

表 5 不同处理对土壤容重的影响

Table 5 Effect of different treatments on soil bulk density

处理 Treatment	土层 Depth (cm)	浸水容重 Water-logged 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)
CT	0—10	0.38	0.77	1.53	0.76
	10—20	0.40	0.86	1.46	0.60
NTF	0—10	0.43	0.98	1.52	0.54
	10—20	0.46	1.04	1.53	0.49
NTR	0—10	0.47	0.94	1.49	0.55
	10—20	0.44	1.13	1.64	0.51
RPD	0—10	0.41	0.95	1.56	0.55
	10—20	0.44	1.14	1.67	0.53

2.3.2 对土壤有机质及养分含量的影响 表 6 表明,不同处理的土壤有机质含量及其在不同层次的分布存在较大差异。0—10、10—20cm 土层垄作免耕处理有机质的平均含量分别比水旱轮作和常规平作增加 16.4、9.2 和 14.1、4.2 g/kg。不同耕作方式有机质在土壤剖面的分布特点不同,垄作免耕处理的有机质主要积聚于土壤表层,而水旱轮作和常规平作处理则较均匀地分布于整个耕层(表 6)。这与该两处理因土壤频繁扰动,土壤团聚体遭到破坏,导致外加和土壤原有有机质的矿化比免耕土壤强烈有关,与国外的相关研究相一致^[18-19]。

表 6 还表明,土壤全氮、碱解氮也以垄作免耕最高,常规平作其次,水旱轮作最低;土壤全磷、全钾、有效磷也是垄作免耕比其它几个处理都高,但有效钾则是常规平作处理最高,表明在复种指数较高的

情况下,垄作免耕在本试验施钾水平下不利于土壤钾素的平衡,应合理增施钾肥。

2.3.3 对土壤中腐殖质结合形态的影响 同常规平作相比,垄作免耕土壤松结态腐殖质含量提高,尤其是 0—20cm 土层比常规平作和水旱轮作高 0.194 和 0.238 个百分点,而紧结态腐殖质却低 0.098 和 0.037 个百分点;稳结态腐殖质各处理间 0—20cm 土层差别不大,而 20—40cm 垄作免耕比水旱轮作和常规平作高 0.028 和 0.193 百分点。从土壤腐殖质松结态与紧结态的比值看,垄作免耕>水旱轮作>常规平作(表 7)。傅积平等^[20]在研究太湖地区不同肥力水平的水稻土的复合胶体指出,随着土壤肥力提高,松结态与紧结态腐殖质碳量之比值增加。本试验结果表明,垄作免耕对提高土壤肥力水平十分有利。

表 6 不同耕作处理对土壤养分含量的影响
Table 6 Effect of different treatments on contents of nutrients

处理 Treatment	土层 Depth (cm)	有机质 OM (g/kg)	全氮 Tot. N (g/kg)	全磷 Tot. P (g/kg)	全钾 Tot. K (g/kg)	碱解氮 Alkal-hydrol. N (mg/kg)	有效磷 Avail. P (mg/kg)	有效钾 Avail. K (mg/kg)
CT	0—10	34.4	2.10	1.07	18.7	111.2	9.4	103.8
	10—20	35.3	2.14	0.65	18.1	114.7	11.1	82.9
NTF	0—10	33.5	1.99	0.74	22.8	117.1	12.5	88.7
	10—20	30.9	1.61	0.81	22.1	114.7	5.8	56.0
NTR	0—10	48.5	2.93	1.21	24.1	165.0	42.5	78.0
	10—20	39.5	2.44	0.85	18.3	142.1	34.9	53.6
RPD	0—10	32.1	1.82	0.59	17.8	115.2	20.7	71.7
	10—20	30.3	1.78	0.89	18.3	97.7	19.5	50.5

表 7 不同耕作方式对土壤腐殖质形态的影响
Table 7 Effect of different treatments on humus forms of soil

处理 Treatment	土层 Depth (cm)	腐殖质形态 Humus forms (C %)			松结态/紧结态 Loosely combined/ Tightly combined
		松结态 Loosely combined	稳结态 Stably combined	紧结态 Tightly combined	
CT	0—10	0.491	0.236	0.612	0.802
	10—20	0.356	0.153	0.425	0.838
NTR	0—10	0.685	0.259	0.514	1.332
	10—20	0.469	0.346	0.557	0.842
RPD	0—10	0.447	0.254	0.551	0.811
	10—20	0.563	0.318	0.448	1.257

2.3.4 对土壤微生物和酶活性的影响 在水稻拔节期测定 0—20cm 土层的微生物和酶活性(表 8)表明,垄作免耕处理土壤中的细菌、放线菌和纤维分解菌数量比其它几个处理增加,真菌数量比常规平作

减少,脲酶和过氧化氢酶的活性以垄作免耕最高,其次是水旱轮作,常规平作最低。表明垄作免耕因田间微地形的改变,表层土壤出露水面,长期以毛管水浸润,通气良好,水热状况稳定^[11,15],为微生物的生

表 8 不同耕作方式对土壤微生物和酶活性的影响

Table 8 Effect of different treatments on microbes and the enzyme activity of soil

处理 Treatment	细 菌 Bacteria ($\times 10^3$ cfu/g)	真 菌 Fungi ($\times 10^3$ cfu/g)	放线菌 Actinomycetes ($\times 10^3$ cfu/g)	纤维素分解菌 Cellulose-decomposing bacteria ($\times 10^3$ cfu/g)	脲酶 Urease (N mg/kg)	过氧化氢酶 Catalase [O ₂ mL/(g·s), 25℃]
CT	105	50	38	0.2	83.6	3.70
NTF	166	68	39	3.5	85.4	3.86
NTR	187	23	67	16.2	114.5	4.95
RPD	159	20	25	4.7	97.2	4.35

长和酶活性的提高创造了良好的条件。

3 讨论

稻田免耕能否保持和提高作物产量及土壤肥力,长期以来在学术界有很大的争论^[3-13,15-19,21]。一些定位试验研究表明,连续免耕并配合施用有机肥,对土壤结构破坏少,土层水稳性团粒结构增多,土壤表层有机质和养分含量显著增加,同时,能提高作物产量、减少劳动力投入,增加经济效益^[12,16]。本试验结果表明,稻田长期垄作免耕土壤的有机质,全氮、磷、钾;速效氮、磷、钾;微生物数量和酶活性,土壤容重均比常规平作和水旱轮作高,虽然各处理都比试验前有所增加,但垄作免耕稻田土壤提高速度快,幅度大。这一结果与王昌全等所报道的结果较为一致^[11,16,22]。稻田垄作免耕能提高土壤肥力,主要是垄作改变了淹水平作时以重力下渗水为主的水分运动形式,使沟内始终保持着稳定而又可调的水层,沟内的水分在土壤毛管引力和吸水力的作用下,垄沟内的水分源源不断地输向垄顶,使垄埂土壤较稳定地保持毛管水状况,有利于通气、导温,扩大了土体与外界的物质与能量交换,同时也为微生物生长繁殖和酶活性的提高创造了有利的环境条件。

由于垄作免耕改善了土壤通气性,使土壤物理、化学性状有明显的改善^[11,16,23],有利于作物的良好生长。本试验结果表明,垄作免耕比常规平作和水旱轮作处理的水稻根系数量、白根率、根系活力都强,分蘖早,群体性状表现佳,水稻产量高,这与国内外的许多报道结果相似^[3,10-11,16]。因此,在南方稻区推广垄作免耕,对改善土壤肥力和提高水稻产量有着十分重要的意义。

参 考 文 献:

[1] 陆欣来. 免耕与少耕[J]. 中国耕作制度研究通讯, 1985,17(2):

18-23.

[2] 马世均. 国外旱地农业的发展现状[J]. 中国农学通报,1989,7(2): 30-31.

[3] 邵达三,黄细喜. 南方水田少(免)耕法研究报告[J]. 土壤学报, 1985,22(4): 305-319.

[4] 魏朝富,高明,车福才,等. 垄作稻田和垄作养鱼稻田土壤结构与肥力特征研究[J]. 生态学杂志,1989,8(1): 22-26.

[5] 严少华,黄东迈. 免耕对水稻土持水特征的影响[J]. 土壤通报, 1995,26(5): 198-199.

[6] Mackie-Dawson L A, Mullins C E, Goss M J *et al* . Seasonal changes in the structure of clay soils in relation to soil management and crop type. II . Effects of cultivation and cropping at Compton Beauchamp[J]. J. Soil Sci. ,1989,40(2): 283-292.

[7] Pagliai M, Raglione M, Panini T *et al* . The structure of two alluvial soils in Italy after 10 years of conventional and minimum tillage[J]. Soil Tillage Res. ,1995,34(4): 209-203.

[8] 徐阳春,沈其荣. 长期免耕与施用有机肥对土壤微生物生物量碳、氮、磷的影响[J]. 土壤学报, 2002,39(1): 89-95.

[9] 王永锐,李小林. 免(少)耕水稻同化物运转, 碳/氮比研究[J]. 耕作与栽培,1992(2): 24-28.

[10] 杜金泉,方树安. 水稻少免耕技术研究 I. 稻作少免耕类型,生产效应及前景的探讨[J]. 西南农业学报, 1990,3(4): 26-32.

[11] 谢德体. 水稻旱半旱式增产效果及机理研究[J]. 西南农业大学学报, 1985,7(4): 23-28.

[12] 徐阳春,沈其荣,雷宝坤,等. 水旱轮作下长期免耕和施用有机肥对土壤某些土壤肥力性状的影响[J]. 应用生态学报, 2000, 11(14): 549-552.

[13] 李华兴,卢盛盛,刘远金,等. 不同耕作方式对水稻生长和土壤生态的影响[J]. 应用生态学报, 2001,12(4): 553-556.

[14] 李酉开. 土壤农业化学常规分析方法[M]. 北京: 科学出版社, 1982.

[15] 魏朝富,高明,车福才,等. 浸润垄作稻田土壤生态系统的研究[J]. 生态学杂志,1993,12(3): 26-30.

[16] 王昌全,魏成明,李廷强,等. 不同免耕方式对作物产量和土壤理化性状的影响[J]. 四川农业大学学报, 2001,19(2): 152-154.

[17] 黄锦发,俞慧明. 稻田免耕直播对土壤肥力性状与水稻生长的影响[J]. 浙江农业科学, 1997,11(5): 226-228.

[上接 348 页]

- [18] Balesdent J, Mariotti A, Boissgonier D. Effect of tillage on soil organic carbon mineralization estimated from abundance in maize fields[J]. Soil Sci., 1990, 41: 587-896.
- [19] Lal R. No-tillage effects on soil properties under different crops in western Nigeria[J]. Soil Sci Soc. Am. J., 1976, 40: 762-768.
- [20] 傅积平. 太湖地区水稻土复合胶体的特性[J]. 土壤学报, 1983, 20(2): 48-53.
- [21] Lee J S, Jung Y T, Lee J S *et al* . Rice growth and soil properties as affected by tillage methods on direct-sown rice[J]. RDAJ Agric. Sci. Soil Fert. 1993, 35(1): 264-269.
- [22] 张磊, 肖剑英, 谢德体, 等. 长期免耕水稻田土壤的生物特征研究[J]. 水土保持学报, 2002, 16(2): 111-114.
- [23] 魏朝富, 高明, 车福才, 等. 垄作免耕下稻田土壤团聚体和水热状况变化的研究[J]. 土壤学报, 1990, 27(2): 172-177.