

稻草还田免耕抛秧对水稻土剖面形态特征的影响^①

黄景¹, 顾明华¹, 徐世宏², 杨为芳², 江立庚^{1*}

(1 广西大学农学院, 南宁 530005; 2 广西农业技术推广总站, 南宁 530022)

摘要: 为探讨免耕抛秧栽培对土壤剖面形态特征的影响, 分别对连续 2 年和 7 年结合稻草还田的常耕和免耕试验的土壤剖面进行了研究。结果表明, 常耕对土壤剖面形态特征影响不明显。免耕改变了耕作层亚层的剖面形态特征, 且表层土壤疏松和 pH 值变小; 水稻根系向土壤表层集中和裂隙出现部位增高。普通免耕形成的耕作层构型是 Aa1-Aa2-Aa3, 疏松表层较薄、亚表层有变坚实的趋势。稻草还田免耕形成的耕作层构型是 O-Aa1-Aa2-Aa3, 鳃血斑的数量增加、土壤颜色加深、疏松和体积质量降低。以稻草还田免耕抛秧形成的土壤剖面协调土壤肥力效果最好。

关键词: 免耕抛秧; 稻草还田; 水稻土; 土体构型; 剖面形态特征

中图分类号: S151.9+1

1996 年广东省农科院水稻所将免耕与抛秧有机结合, 成功地试验出水稻免耕抛秧栽培方式^[1]。由于该栽培方式结合了免耕和抛秧技术的优点以及具有省工、节本、高效等特点^[2-4], 因此, 这种栽培方式已在全国稻作区较大面积推广^[5-6]。免耕对土壤是否会引起板结就成了人们普遍关注的问题。多数研究表明^[7-14], 水稻免耕栽培提高土壤大团聚体含量, 形成良好土壤结构体, 使土壤体积质量(容重)降低, 提高质地黏重的土壤通气孔隙数量, 使土壤养分在表层累积, 提高土壤有机质和养分含量, 改善土壤腐殖质品质; 增加土壤微生物数量和提高土壤酶活性。也有研究报道^[15-17], 水稻免耕在短年限内对土壤理化性质影响不明显, 但长期免耕能使土壤体积质量增大, 特别是连续 3 年以上免耕会导致土壤理化性质变差, 土壤变板结, 水稻免耕受到年限和土壤类型的限制, 土壤微生物总数量减少, 表层土壤过氧化氢酶、过氧化物酶和多酚氧化酶活性降低。目前有关免耕稻田的研究主要集中在对物理、化学和生物学性质方面, 而对剖面形态特征方面的研究还较少。剖面形态特征是土壤重要特征^[18], 是决定土壤肥力的重要指标, 特别是在 1 m 内的剖面形态特征对作物生长发育, 水分和养分吸收等都有重要影响^[19]。本文研究了连续 2 年和 7 年稻草还田常耕和稻草还田免耕抛秧试验稻田的剖面形态特征,

以为完善水稻免耕抛秧栽培技术提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验点概况

田间试验分别在广西境内百色市右江区那毕乡那毕村(简称百色点)、桂林市荔浦县荔城镇黄寨村(简称桂林点)和南宁市广西大学农学院教学与科研基地(简称南宁点)进行。百色点和桂林点试验起始时间为 2002 年 3 月, 南宁点试验起始时间为 2006 年 3 月。百色点和南宁点地形为盆地, 成土母质为第四纪红色黏土; 桂林点地形为河流阶地, 成土母质为石灰岩地区河流冲积物。各试验点均为地形开阔, 灌排良好, 长期人为滞水种植双季稻区, 土壤类型为潴育性水稻土(铁聚水耕人为土)。百色点和桂林点的观测时间: 试验前为 2001 年 12 月, 试验后为 2008 年 12 月; 南宁点的观测时间: 试验前为 2006 年 2 月, 试验后为 2007 年 12 月。试验点概况见表 1。试验前各试验点的土体构型和剖面形态特征见表 2。

1.2 试验方法

1.2.1 百色点与桂林点 田间试验设稻草还田免耕抛秧(SNT)与稻草还田常耕抛秧(SCT)2 个处理, 其中 SNT 处理重复 3 次, SCT 处理不设重复。百色点小区面积为 216.67 m², 桂林点小区面积为 200 m²。田

①基金项目: 国家自然科学基金项目(30560066)和广西自然科学基金项目(0728013)资助。

* 通讯作者(jiang@gxu.edu.cn)

作者简介: 黄景(1963—), 男, 广西北流人, 副教授, 博士研究生, 研究方向水稻免耕栽培和水稻土培肥。E-mail: huji1608@126.com

间小区按免耕-免耕-免耕-常耕排列。每季按留高荐的方式收割水稻，田间残留稻草率为 70% ~ 75%，折合稻草量为 4 200 ~ 4 500 kg/hm²。基肥施用碳铵 375 kg/hm²、过磷酸钙 450 kg/hm²和氯化钾 75 kg/hm²；分蘖肥施用尿素 225 kg/hm²和氯化钾 225 kg/hm²；穗肥施用复合肥（15:15:15）90 kg/hm²。

表 1 试验点概况

Table 1 Basic information of experimental sites

地点	经纬度	海拔 (m)	年均温度 (℃)	年降雨量 (mm)
百色	106°37'6.70" E, 23°52'45.41" N	172	22.0	1 115
桂林	110°24'8.14" E, 24°31'21.74" N	179	19.7	1 426
南宁	108°17'20.98" E, 22°51'15.83" N	75	21.6	1 304

表 2 试验前土壤剖面形态特征

Table 2 Profile morphology before experiment

地点	土层	深度 (cm)	颜色	质地	结构	新生体	干湿度	紧实度	pH	体积质量 (g/cm ³)	根系 状况	孔隙 状况	裂隙 状况
百色	Aa1	0 ~ 8	浊黄棕色（湿润， 10YR4/3）	黏壤	小块状	7% 鳊血斑	湿润	稍紧实	6.5	1.25	中量	中量	无
	Aa2	8 ~ 21	浊黄棕色（湿润， 10YR5/4）	黏壤	块状	5% 鳊血斑	湿润	紧实	6.5	1.30	中量	中量	无
	Ap	21 ~ 33	浊黄棕色（湿润， 10YR6/3）	壤黏	块状	3% 铁锰斑	湿润	紧实	7.0	1.34	少量	少量	无
	W	33 ~ 68	黄棕色（湿润， 2.5YR5/6）	壤黏	棱柱状	5% 铁锰斑， 25% 锈纹斑	湿润	极紧实	7.0	1.53	极少量	少量	少量
	C	68 ~	亮棕色（湿润， 7.5YR6/8）	黏土	大块状	无	湿润	极紧实	6.5	1.55	无	少量	无
桂林	Aa1	0 ~ 7	棕灰色（润， 7.5YR6/1）	壤土	小块状	5% 鳊血斑	润	稍紧实	7.0	1.22	中量	中量	无
	Aa2	7 ~ 19	灰棕色（润， 7.5Y5/2）	壤土	块状	2% 鳊血斑	润	紧实	7.3	1.26	中量	中量	无
	Ap	19 ~ 31	灰棕色（润， 7.5YR6/2）	粉砂壤	块状	1% 铁锰斑	润	紧实	7.5	1.35	少量	少量	无
	W	31 ~ 67	淡棕灰色（润， 7.5YR7/1）	壤土	棱柱状	2% 铁锰斑	润	极紧实	7.5	1.46	极少量	少量	少量
	C	67 ~	橙色（润， 7.5YR6/8）	壤土	大块状	无	润	极紧实	7.5	1.51	无	少量	无
南宁	Aa1	0 ~ 6	灰黄棕色（润， 10YR4/2）	黏壤	小块状	3% 鳊血斑	润	稍紧实	6.5	1.21	中量	中量	无
	Aa2	6 ~ 20	灰黄棕色（润， 10YR5/2）	黏壤	块状	2% 鳊血斑	润	紧实	6.5	1.35	中量	中量	无
	Ap	20 ~ 30	灰黄棕色（润， 10YR6/2）	壤黏	块状	2% 铁锰斑	润	紧实	7.0	1.45	少量	少量	无
	W	30 ~ 50	黄棕色（润， 2.5YR5/6）	壤黏	棱柱状	2% 铁锰斑， 20% 锈纹斑	润	极紧实	7.0	1.52	极少量	少量	少量
	C	50 ~	亮红棕色（润， 5YR6/8）	黏土	大块状	无	润	极紧实	6.5	1.57	无	少量	无

1.2.2 南宁点 田间试验设稻草还田免耕抛秧 (SNT)、稻草还田常耕抛秧 (SCT)、普通免耕抛秧 (CNT)、普通常耕抛秧 (CCT) 4 个处理, 每个处理重复 3 次, 随机区组排列。每个小区规格为 $6\text{ m} \times 4\text{ m}$ 。稻草还田用量为 $6\,000\text{ kg/hm}^2$ 。常耕用人工翻田, 对稻草还田的常耕处理, 则把稻草均匀地翻压入耕作层中。氮肥施用尿素 424 kg/hm^2 , 其中基肥占 40%、分蘖肥占 30%、穗肥占 30%; 磷肥施用过磷酸钙 450 kg/hm^2 , 全部用作基肥; 钾肥施用氯化钾 225 kg/hm^2 , 其中基肥占 60%、分蘖肥占 40%。其他的田间管理按照“广西水稻免耕抛秧技术要点”要求进行^[20]。

1.3 观测方法

土壤剖面形态特征测定按全国土壤普查办公室^[21]和龚子同等^[22]的相应方法进行; 土壤 pH 值采用混合指示剂法测定^[21]; 体积质量采用环刀法测定^[23]。

2 结果与分析

2.1 稻草还田免耕抛秧对土壤形态性质的影响

2.1.1 稻草还田免耕抛秧对土体构型的影响 常耕处理 (CCT 和 SCT) 对试验前的土体构型影响不明显, 均保持着原来的土体构型 Aa1-Aa2-Ap-W-C (表 2~5)。免耕处理在耕作层以下土层组合变化不明显, 还保持原来的 Ap-W-C 组合, 但在耕作层中发生了较大的变化, 形成了新的亚层组合: 普通免耕处理 (CNT) 耕作层亚层组合为 Aa1-Aa2-Aa3, 在土壤表面分化出一层厚度为 2 cm 的新 Aa1 层, 与试验前土壤原 Aa1 相比 (表 2), 新 Aa1 层根系密集, 颜色加深, 结构为团粒结构, 体积质量降低; 稻草还田免耕 (SNT) 处理耕作层组合为 O-Aa1-Aa2-Aa3, 与试验前土壤相比 (表 2), 在土壤表面形成了一层由不同分解程度稻草组成的 O 层 (有机质层), O 层是 SNT 处理所特有的层次, 在 O 层下面产生了一层厚度为 4~5 cm 的新 Aa1

层, SNT 处理 Aa1 层与 CNT 处理 Aa1 层相比, SNT 处理 Aa1 层的根系密集, 颜色深, 体积质量低, 厚度比 CNT 的厚。

2.1.2 稻草还田免耕抛秧对土壤剖面发生层颜色的影响 所有处理对土壤剖面 Ap 层以下土层的颜色影响不明显, 均保持着试验前的颜色 (表 2~5)。南宁点普通常耕处理 (CCT) 和稻草还田常耕处理 (SCT) 在试验前后对耕作层亚层的颜色影响不明显, 百色点和桂林点 SCT 处理耕作层亚层的颜色均比试验前相应亚层的深。免耕处理 (CNT 和 SNT) 的 Aa1 层颜色比试验前和常耕处理 Aa1 层颜色深, 但 Aa2 层和 Aa3 层的颜色比试验前和常耕处理相应部位土层的颜色浅; SNT 处理 Aa1 层和 Aa2 层的颜色分别比 CNT 相应土层的颜色深, 但 Aa3 层之间的颜色深浅没有差别。

2.1.3 稻草还田免耕抛秧对土壤剖面发生层厚度的影响 常耕处理对土层厚度影响不明显 (表 2~5), 与试验前和处理间没有差异; 免耕处理对土壤剖面 Ap 层以下土层的厚度影响不明显; 影响较大的是 Aa1 层, CNT 处理的 Aa1 层厚度为 2 cm, SNT 处理 Aa1 层为 4 cm, 但 2 个处理 Aa2 层和 Aa3 层的厚度没有明显差别。

2.1.4 稻草还田免耕抛秧对水稻根系分布的影响

所有处理水稻根系都主要分布在 W 层以上的土层 (表 2~5), 都具有从剖面上部到下部逐渐减少的趋势, C 层没有水稻根系。常耕处理水稻根系主要分布在 Aa1 层和 Aa2 层, 都是中量细根, 在耕作层范围内分布较均匀, 其分布状况与试验前没有明显差别。免耕处理水稻根系主要分布在 0~12 cm 土层范围内, 特别是 0~5 cm 土层范围内, 水稻根系有向表层土壤集中的趋势。此外, 在免耕处理剖面 Aa2 层以下土层的裂隙中, 分布有少量比上面根系粗大的水稻根系, 这类根系沿着剖面的垂直裂隙向下生长, 深度可达到 W 层。

表 3 百色点试验后土壤剖面形态特征
Table 3 Profile morphology after experiment at Baise site

处理	土层	深度 (cm)	颜色	质地	结构	新生体	干湿度	紧实度	pH	体积质量 (g/cm ³)	根系 状况	孔隙 状况	裂隙 状况
稻草还田 常耕 (SCT)	Aa1	0~8	灰黄棕色 (湿润, 10YR4/2)	黏壤	小块状	8% 鳊血斑	湿润	稍紧实	6.5	1.23	中量	中量	无
	Aa2	8~21	灰橄榄色 (湿润, 7.5Y6/2)	黏壤	块状	5% 鳊血斑, 15% 灰斑	湿润	稍紧实	6.5	1.28	中量	中量	无
	Ap	21~33	浊黄橙色 (湿润, 10YR6/3)	壤黏	块状	3% 铁锰斑	湿润	紧实	7.0	1.35	少量	少量	无
	W	33~68	黄棕色 (湿润, 2.5YR5/6)	壤黏	棱柱状	5% 铁锰斑, 25% 锈纹斑	湿润	极紧实	7.0	1.52	极少量	少量	少量

续表 3

稻草还田 免耕 (SNT)	C	68 ~	亮棕色 (湿润, 7.5YR6/8)	粘土	大块状	无	湿润	极紧实	6.5	1.56	无	少量	无
	O	3 ~ 0	黑棕色 (湿, 10YR3/1)	-	-	-	湿	松散	-	-	多量	-	-
	Aa1	0 ~ 5	暗棕色 (湿润, 10YR3/3)	黏壤	团粒	无	湿润	疏松	6.0	0.82	多量	多量	无
	Aa2	5 ~ 13	浊黄棕色 (湿润, 10YR5/3)	黏壤	块状	10% 鳊血斑	湿润	稍紧实	6.5	1.26	中量	中量	无
	Aa3	13 ~ 21	浊黄棕色 (湿润, 10YR5/4)	壤黏	块状	5% 鳊血斑	湿润	稍紧实	6.5	1.30	少量	中量	少量
	Ap	21 ~ 33	浊黄棕色 (湿润, 10YR6/3)	壤黏	块状	3% 铁锰斑	湿润	紧实	7.0	1.37	少量	少量	少量
	W	33 ~ 68	黄棕色 (湿润, 2.5YR5/6)	壤黏	棱柱状	5% 铁锰斑, 25% 锈纹斑	湿润	极紧实	7.0	1.53	极少量	少量	少量
	C	68 ~	亮棕色 (湿润, 7.5YR6/8)	黏土	大块状	无	湿润	极紧实	6.5	1.55	无	少量	无

表 4 桂林点试验后土壤剖面形态特征
Table 4 Profile morphology after experiment at Guilin site

处理	土层	深度 (cm)	颜色	质地	结构	新生体	干湿度	紧实度	pH	体积质量 (g/cm ³)	根系 状况	孔隙 状况	裂隙 状况
稻草还田常耕 (SCT)	Aa1	0 ~ 9	棕灰色 (润, 7.5YR4/1)	壤土	小块状	7% 鳊血斑	润	稍紧实	7.0	1.21	中量	中量	无
	Aa2	9 ~ 20	棕灰色 (润, 7.5Y5/1)	壤土	块状	2% 鳊血斑	润	稍紧实	7.3	1.24	中量	中量	无
	Ap	20 ~ 31	灰棕色 (润, 7.5YR6/2)	粉砂壤	块状	1% 铁锰斑	润	紧实	7.5	1.34	少量	少量	无
	W	31 ~ 67	淡棕灰色 (润, 7.5YR7/1)	壤土	棱柱状	2% 铁锰斑	润	极紧实	7.5	1.45	极少量	少量	少量
	C	67 ~	橙色 (润, 7.5YR6/8)	壤土	大块状	无	润	极紧实	7.5	1.53	无	少量	无
稻草还田免耕 (SNT)	O	2 ~ 0	黑棕色 (润, 10YR3/1)	-	-	-	润	松散	-	-	多量	-	-
	Aa1	0 ~ 4	橄榄黑 (润, 5Y3/2)	壤土	团粒	无	润	疏松	6.5	0.79	多量	多量	无
	Aa2	4 ~ 12	暗灰黄色 (润, 2.5Y5/2)	壤土	块状	8% 鳊血斑	润	稍紧实	7.0	1.24	多量	中量	无
	Aa3	12 ~ 20	灰黄色 (润, 2.5Y6/2)	壤土	块状	2% 鳊血斑	润	稍紧实	7.5	1.26	中量	中量	少量
	Ap	20 ~ 31	灰棕色 (润, 7.5YR6/2)	粉砂壤	块状	1% 铁锰斑	润	紧实	7.5	1.33	少量	少量	少量
	W	31 ~ 67	淡棕灰色 (润, 7.5YR7/1)	壤土	棱柱状	2% 铁锰斑	润	极紧实	7.5	1.47	少量	少量	少量
	C	67 ~	橙色 (润, 7.5YR6/8)	壤土	大块状	无	润	极紧实	7.5	1.51	无	少量	无

表 5 南宁点试验后土壤剖面形态特征
Table 5 Profile morphology after experiment at Nanning site

处理	土层	深度 (cm)	颜色	质地	结构	新生体	干湿度	紧实度	pH	体积质量 (g/cm ³)	根系 状况	孔隙 状况	裂隙 状况
普通常耕 (CCT)	Aa1	0 ~ 6	灰黄棕色 (润, 10YR4/2)	黏壤	小块状	3% 鳊血斑	润	稍紧实	6.5	1.22	中量	中量	无
	Aa2	6 ~ 20	灰黄棕色 (润, 10YR5/2)	黏壤	块状	2% 鳊血斑	润	紧实	6.5	1.35	中量	中量	无
	Ap	20 ~ 30	灰黄棕色 (润, 10YR6/2)	壤黏	块状	2% 铁锰斑	润	紧实	7.0	1.46	少量	少量	无
	W	30 ~ 50	黄棕色 (润, 2.5YR5/6)	壤黏	棱柱状	2% 铁锰斑, 20% 锈纹斑	润	极紧实	7.0	1.54	极少量	少量	少量
	C	50 ~	亮红棕色 (润, 5YR6/8)	黏土	大块状	无	润	极紧实	6.5	1.57	无	少量	无

续表 5

普通免耕 (CNT)	Aa1	0~2	暗棕色(润, 10YR3/4)	黏壤	团粒	无	润	疏松	6.3	1.18	多量	多量	无
	Aa2	2~11	灰黄棕色(润, 10YR6/2)	黏壤	块状	3% 鳕血斑	润	紧实	6.5	1.36	中量	中量	少量
	Aa3	11~20	浊黄棕色(润, 10YR5/3)	黏壤	块状	无	润	紧实	6.5	1.38	少量	少量	少量
	Ap	20~30	灰黄棕色(润, 10YR6/2)	壤黏	块状	2% 铁锰斑	润	紧实	7.0	1.44	少量	少量	少量
	W	30~50	黄棕色(润, 2.5YR5/6)	壤黏	棱柱状	2% 铁锰斑, 20% 锈纹斑	润	极紧实	7.0	1.54	极少量	少量	少量
	C	50~	亮红棕色(润, 5YR6/8)	黏土	大块状	无	润	极紧实	6.5	1.56	无	少量	无
	Aa1	0~6	灰黄棕色(润, 10YR4/2)	黏壤	小块状	5% 鳕血斑	润	稍紧实	6.5	1.22	中量	中量	无
	Aa2	6~20	灰黄棕色(润, 10YR5/2)	黏壤	块状	5% 鳕血斑	润	稍紧实	6.5	1.34	中量	中量	无
	Ap	20~30	灰黄棕色(润, 10YR6/2)	壤黏	块状	3% 鳕血斑, 2% 铁锰斑	润	紧实	7.0	1.44	少量	少量	无
	W	30~50	黄棕色(润; 2.5YR5/6)	壤黏	棱柱状	2% 铁锰斑, 20% 锈纹斑	润	极紧实	7.0	1.53	极少量	少量	少量
稻草还田常 耕 (SCT)	C	50~	亮红棕色(润, 5YR6/8)	黏土	大块状	无	润	极紧实	6.5	1.55	无	少量	无
	O	3~0	黑棕色(润, 10YR3/1)	-	-	无	润	松散	-	-	多量	-	-
	Aa1	0~5	暗棕色(润, 10YR3/3)	黏壤	团粒	无	润	疏松	6.0	1.11	多量	多量	无
	Aa2	5~12	灰黄棕色(润, 10YR5/2)	黏壤	块状	10% 鳕血斑	润	紧实	6.5	1.34	多量	中量	无
	Aa3	12~20	浊黄棕色(润, 10YR5/3)	黏壤	块状	5% 鳕血斑	润	稍紧实	6.5	1.36	中量	中量	少量
	Ap	20~30	灰黄棕色(润, 10YR6/2)	壤黏	块状	2% 铁锰斑	润	紧实	7.0	1.45	少量	少量	少量
	W	30~50	黄棕色(润, 2.5YR5/6)	壤黏	棱柱状	2% 铁锰斑, 20% 锈纹斑	润	极紧实	7.0	1.53	少量	少量	少量
	C	50~	亮红棕色(润, 5YR6/8)	黏土	大块状	无	润	极紧实	6.5	1.55	无	少量	无
	Aa1	0~5	暗棕色(润, 10YR3/3)	黏壤	团粒	无	润	疏松	6.0	1.11	多量	多量	无
	Aa2	5~12	灰黄棕色(润, 10YR5/2)	黏壤	块状	10% 鳕血斑	润	紧实	6.5	1.34	多量	中量	无
稻草还田免 耕 (SNT)	Aa3	12~20	浊黄棕色(润, 10YR5/3)	黏壤	块状	5% 鳕血斑	润	稍紧实	6.5	1.36	中量	中量	少量
	Ap	20~30	灰黄棕色(润, 10YR6/2)	壤黏	块状	2% 铁锰斑	润	紧实	7.0	1.45	少量	少量	少量
	W	30~50	黄棕色(润, 2.5YR5/6)	壤黏	棱柱状	2% 铁锰斑, 20% 锈纹斑	润	极紧实	7.0	1.53	少量	少量	少量
	C	50~	亮红棕色(润, 5YR6/8)	黏土	大块状	无	润	极紧实	6.5	1.55	无	少量	无
	O	3~0	黑棕色(润, 10YR3/1)	-	-	无	润	松散	-	-	多量	-	-
	Aa1	0~5	暗棕色(润, 10YR3/3)	黏壤	团粒	无	润	疏松	6.0	1.11	多量	多量	无
	Aa2	5~12	灰黄棕色(润, 10YR5/2)	黏壤	块状	10% 鳕血斑	润	紧实	6.5	1.34	多量	中量	无
	Aa3	12~20	浊黄棕色(润, 10YR5/3)	黏壤	块状	5% 鳕血斑	润	稍紧实	6.5	1.36	中量	中量	少量
	Ap	20~30	灰黄棕色(润, 10YR6/2)	壤黏	块状	2% 铁锰斑	润	紧实	7.0	1.45	少量	少量	少量
	W	30~50	黄棕色(润, 2.5YR5/6)	壤黏	棱柱状	2% 铁锰斑, 20% 锈纹斑	润	极紧实	7.0	1.53	少量	少量	少量

2.1.5 稻草还田免耕抛秧对土壤孔隙状况的影响

从表 2~5 可以看出,常耕处理剖面中各层的孔隙状况在试验前后没有明显的变化,都是耕作层中量,耕作层以下土层少量;免耕处理 Aa1 层的孔隙状况为多量, Aa2 层的为中量, CNT 处理的 Aa3 层为少量,但 SNT 处理的 Aa3 层为中量。与常耕相比,免耕抛秧处理增加土壤表层孔隙的数量,以稻草还田免耕改变的程度最大。

2.1.6 稻草还田免耕抛秧栽培对土壤裂隙的影响

常耕处理对剖面各层裂隙的状况影响不明显,影响较大的是免耕处理(表 2~5)。常耕处理的裂隙出现位置最低,只出现在 W 层,与试验前没有差别;CNT 处理的裂隙出现的部位最高,在 Aa2 就存在有裂隙,向下一一直延伸到 W 层;SNT 处理的裂隙则在 Aa3、Ap 和 W 层出现。剖面中裂隙出现的位置高低排列为: CNT 处理>SNT 处理>CCT 处理和 SCT 处理。此外,免耕处理有使裂隙向剖面上部集中的趋势,以普通免耕抛秧处理改变的程度最大。

2.2 稻草还田免耕抛秧对土壤物理性质的影响

2.2.1 稻草还田免耕抛秧栽培对土壤结构的影响

从表 3~5 的结果可以看出,常耕处理对剖面各土层结构影响不明显,免耕处理对剖面 Aa2 层以下各土

层结构影响也不明显。对结构影响较大的土层是免耕处理新形成的 Aa1 层, CNT 处理和 SNT 处理 Aa1 层的结构都是团粒结构。

在常耕条件下,不管稻草还田与否,对土壤结构影响不明显;在免耕条件下,不管稻草还田与否,表层土壤的结构有向团粒结构转变的趋势,以稻草还田免耕改变的程度最大。

2.2.2 稻草还田免耕抛秧对土壤松紧度的影响

根据表 3~5 的结果可知,所有处理对耕作层以下土层的松紧度影响不明显;CCT 处理耕作层的松紧度与试验前没有差别;SCT 处理 Aa1 层的松紧度与试验前没有差别,但 Aa2 层变疏松;免耕处理 Aa1 层的松紧度有变疏松的趋势;CNT 处理的 Aa2 层变紧实, Aa3 层的松紧度与试验前没有差别;SNT 处理的 Aa2 层变疏松, Aa3 层的松紧度与试验前没有差别。

2.2.3 稻草还田免耕抛秧对土壤体积质量的影响

所有处理对耕作层下面土层的体积质量影响不明显(表 2~5)。南宁点 CCT 和 SCT 处理 Aa1 层和 Aa2 层以及 SNT 处理 Aa3 层的体积质量与试验前没有明显差别。百色点和桂林点 SCT 处理的 Aa1 层和 Aa2 层体积质量比试验前降低, CNT 处理 Aa1 层和 SNT 处理 Aa1 层和 Aa2 层的体积质量降低, CNT 处理 Aa2 层的

体积质量增大。

在常耕条件下, 短期稻草还田对土壤体积质量改变不明显, 长期稻草还田有使耕作层的体积质量降低的趋势; 在免耕条件下, 表层土壤体积质量都趋于降低, 以稻草还田免耕改变的程度最大, 无稻草还田的普通免耕 Aa2 有增大的趋势, 稻草还田免耕的 Aa2 层有降低的趋势。

2.3 稻草还田免耕抛秧对土壤化学性质的影响

2.3.1 稻草还田免耕抛秧对土壤 pH 值的影响 常耕处理土壤各个发生层的 pH 值与试验前的差别不大, 对 pH 值影响较大的是免耕处理 Aa1 层 (表 2 ~ 5)。CNT 处理 Aa1 层 pH 值比试验前下降 0.2 单位, SNT 处理则下降的幅度较大, 达到 0.5 个单位。与常耕相比, 免耕抛秧处理有使土壤表层变酸的趋势, 以稻草还田免耕改变的程度最大。

2.3.2 稻草还田免耕抛秧对土壤铁、锰新生体的影响

供试土壤的新生体主要有 3 种类型: 铁锰斑、铁锈斑和鳕血斑 (表 3 ~ 5)。铁锰斑和铁锈斑均出现在耕作层以下的土层, 各处理对这 2 种新生体的数量和出现的层次影响不明显。除了南宁点 SCT 处理 Ap 层出现有鳕血斑外, 其他处理鳕血斑均出现在耕作层, CCT 处理鳕血斑的数量与试验前差别不明显。百色点和桂林点 SCT 处理 Aa2 层的鳕血斑数量与试验前没有明显差别, 但 Aa1 层鳕血斑的数量比试验前增加。南宁点 SCT 处理 Aa1 层、Aa2 层和 Ap 层鳕血斑数量比试验前增加, 这三层鳕血斑的数量均比试验前的相应土层增加 2%、3% 和 5%, 特别是 Ap 层, 从试验前无增到 5%; CNT 处理的鳕血斑只在 Aa2 层出现, 其数量与试验前 Aa1 层的相当, 与试验前比, SCT 处理在耕作层鳕血斑的总数量有减少的趋势; SNT 处理鳕血斑出现在 Aa2 和 Aa3 层, 以 Aa2 层的数量最多, 与试验前比, SCT 处理在耕作层鳕血斑的总数量有增加的趋势。此外, 常耕与免耕稻草还田都能增加土壤新生体鳕血斑的数量。

3 讨论

我国农民通过耕作、灌溉、施肥、轮作、间套作等精耕细作措施, 能使我国水稻土肥力长久不衰。精耕细作是我国传统农业的精华, 有着较多的优点, 但它却费工又费时。目前随着我国经济建设的快速发展、农村劳动力的大量转移、稻田耕作成本和劳动力价格的不断上涨, 迫切需要一种既省工省时, 同时又能提高水稻产量、维持和提高水稻土土壤肥力的高效耕作方法。显然费工又费时的精耕细作农业是不能满足这

种需要。

在推广水稻免耕抛秧栽培技术过程中, 人们普遍担心, 水稻免耕与传统精耕细作之间存在着矛盾, 达不到水肥相融的效果, 导致土壤板结、土壤肥力下降和水稻减产。本研究结果表明, 在普通免耕处理形成的 Aa1-Aa2-Aa3 耕作层亚层构型中, 尽管 Aa1 层的形态特征有向肥力高的方向发展的趋势, 但是其土层厚度薄, 且 Aa2-Aa3 层形态特征有向肥力低的方向演变的趋势, 因此整体对土壤培肥不利; 而在稻草还田免耕处理形成的 O-Aa1-Aa2-Aa3 耕作层亚层构型中, Aa1 层和 Aa2 层的形态特征有向肥力高方向发展的趋势。特别是覆盖在土壤表面的稻草层, 其效果与自然土壤的枯枝落叶层相比同, 一方面能使土壤的保水能力增强, 另一方面又能提供给表层土壤腐殖质和各种养分。吴建富等^[14]的研究指出, 没有紫云英和稻草还田的连续免耕, 从第二年起土壤体积质量、孔隙度等土壤物理性质变差; 但采用紫云英和稻草还田的连续免耕能降低免耕稻田土壤体积质量, 提高总孔隙度和非毛管孔隙度, 使土壤物理性质变好。谢德体等^[24]强调, 覆盖是免耕的技术核心和成功的关键, 是免耕发展的必备条件。李新举等^[25]的研究表明, 免耕覆盖的有机物能就地腐解, 提高了土壤有机质含量和促进了土壤团聚体形成。同时有研究表明^[26-28], 稻草还田常耕比稻草还田免耕向环境排放更多甲烷。土壤剖面形态特征是一个土壤类型固有的性质特征, 它是诊断土壤肥力的基础^[18], 只有通过土壤剖面的研究才能真正阐述土壤的肥力状况。由此可见, 稻草还田免耕模仿了自然土壤肥力的发展规律, 随着水稻种植年限增加, 土壤从上向下肥沃, 逐渐使水稻土向高肥力土壤发展。

4 结论

(1) 普通常耕处理能够保持原常耕条件下形成的土壤剖面形态特征; 稻草还田常耕在短期内对原常耕条件下形成的土壤剖面形态特征影响不明显, 但长期稻草还田有使耕作层的形态特征向肥力高方向演变的趋势; 免耕处理能在较短年限内使原常耕形成耕作层亚层的剖面形态特征发生较大的改变。

(2) 普通免耕处理形成了 Aa1-Aa2-Aa3 耕作层亚层构型, 耕作层各亚层的形态性质、物理性质和化学性质从总体上有向肥力低方向发展的趋势;

(3) 稻草还田免耕处理形成了 O-Aa1-Aa2-Aa3 耕作层亚层构型, 耕作层各亚层的形态性质、物理性质和化学性质从总体上有向肥力高方向发展的趋势。

因此, 稻草还田免耕既可培肥土壤, 可以长期免

耕种植水稻, 不受免耕期限和土壤类型的限制, 同时又能减少甲烷排放, 有利于保护环境, 是值得推广的水稻栽培模式。

参考文献:

- [1] 李康活, 黄庆. 双季稻免耕抛秧栽培技术试验获得成功. 广东农业科学, 1997(2): 36
- [2] 任泽明. 湖南水稻免耕直播、免耕抛秧技术的发展前景. 作物研究, 2003, 17(4): 174-175
- [3] 区伟明, 陈润珍, 黄庆. 水稻免耕抛秧经济效益及生态效益分析. 广东农业科学, 2006(6): 5-6
- [4] 杨为芳, 韦柏林, 杜丽华, 何礼健, 廖恒登, 许立明. 稻草还田免耕抛秧水稻的生长发育特点及经济效益分析. 杂交水稻, 2006, 21(S): 36-37
- [5] 张明沛. 水稻免耕抛秧技术创新与推广应用. 中国农学通报, 2007, 23(4): 164-168
- [6] 夏敬源. 中国水稻免耕抛秧技术的发展与展望. 中国农技推广, 2005(9): 9-12
- [7] 赵诚斋. 太湖地区水稻土的物理特性与少免耕法的关系. 土壤学报, 1989, 26(2): 101-108
- [8] 刘世平, 沈新平, 黄细喜. 长期少免耕土壤供肥特征与水稻吸肥规律的研究. 土壤通报, 1996, 27(3): 133-135
- [9] 刘世平, 庄恒杨, 陆建飞, 沈新平, 陈后庆, 黄细喜. 免耕法对土壤结构影响的研究. 土壤学报, 1998, 35(1): 33-37
- [10] 朱炳耀, 黄建华, 黄永耀, 刘建. 连续免耕对中稻产量及土壤理化性质的影响. 福建农业学报, 1999, 14(增刊): 159-163
- [11] 王昌全, 魏成明, 李廷强, 孙凤琼. 不同免耕方式对作物产量和土壤理化性状的影响. 四川农业大学学报, 2001, 19(2): 152-154
- [12] 肖剑英. 自然免耕稻田的土壤微生物与肥力关系研究(硕士学位论文). 四川雅安: 四川农业大学, 2002: 12-26
- [13] 刘怀珍, 黄庆, 李康活, 陆秀明, 刘军, 程永盛, 付华. 水稻免耕抛秧栽培时间对中壤土理化性状的影响. 广东农业科学, 2002(6): 28-31
- [14] 吴建富, 潘晓华, 石庆华, 漆英雪, 刘宗发, 胡金和. 水稻连续免耕抛秧对土壤理化和生物学性状的影响. 土壤学报, 2009, 46(6): 1 132-1 139
- [15] 彭志红, 李明德, 蔡立湘, 聂军, 廖育林, 刘琼峰. 不同耕作·栽培方式下稻草还田对水稻产量及土壤理化性状的影响. 安徽农业科学, 2009, 37(11): 4 925-4 926
- [16] 刘怀珍, 黄庆, 李康活, 陆秀明, 程永盛, 付华, 刘军. 水稻连续免耕抛秧对土壤理化性状的影响初报. 广东农业科学, 2000(5): 8-11
- [17] 李华兴, 卢维盛, 刘远金, 张新明, 陈喜崇, 李永锋, 霍锦添. 不同耕作方法对水稻生长和土壤生态的影响. 应用生态学报, 2001, 12(4): 553-556
- [18] 李天杰, 赵烨, 张科利, 郑应顺, 王云. 土壤地理学. 3 版. 北京: 高等教育出版社, 2004: 169-171
- [19] 李学敏, 翟玉柱, 李雅静, 刘全凤, 王振明. 土体构型与土壤肥力关系的研究. 土壤通报, 2005, 36(6): 975-977
- [20] 广西壮族自治区农业技术推广总站. 广西水稻免耕抛秧技术要点 // 广西壮族自治区农业厅粮油处, 广西壮族自治区农业技术推广总站. 广西三大粮食作物免耕栽培技术推广研讨会资料集. 南宁: 广西壮族自治区农业厅粮油处, 广西壮族自治区农业技术推广总站, 2006: 158-163
- [21] 全国土壤普查办公室. 中国土壤普查技术. 北京: 农业出版社, 1992: 13-41
- [22] 赵其国, 龚子同. 土壤地理研究法. 北京: 科学出版社, 1988: 96-132
- [23] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析. 上海: 上海科学技术出版社, 1981: 511-514
- [24] 谢德体, 陈绍兰. 水田自然免耕的理论与技术. 重庆: 重庆出版社, 2002: 5-6
- [25] 李新举, 张志国, 邓基先, 刘辉友. 免耕对土壤生态环境的影响. 山东农业大学学报, 1998, 24(4): 520-526
- [26] 陈苇, 卢婉芳, 段彬伍. 稻草还田对晚稻稻田甲烷排放的影响. 土壤学报, 2002, 39(2): 170-176
- [27] 李成芳, 曹凑贵, 汪金平, 翟中兵, 梅少华. 不同耕作方式下稻田土壤CH₄和CO₂的排放及碳收支估算. 农业环境科学学报, 2009, 28(12): 2 482-2 488
- [28] 代光照, 李成芳, 曹凑贵, 展茗, 通乐嘎, 梅少华, 翟中兵, 范端阳. 免耕施肥对稻田甲烷与氧化亚氮排放及其温室效应的影响. 应用生态学报, 2009, 20(9): 2 166-2 172

Effects of No-tillage and Rice-seedling Throwing with Rice Straw Returning to Paddy Soil on Profile Morphological Characteristics

HUANG Jing¹, GU Ming-hua¹, XU Shi-hong², YANG Wei-fang², JIANG Li-geng¹

(1 *Agricultural College, Guangxi University, Nanning 530005, China;*

2 *Guangxi Agricultural Technology Extension General Station, Nanning 530022, China*)

Abstract: The effect of no-tillage with rice-seedling throwing on profile morphology was investigated by comparison of conventional tillage and no-tillage lasted two and seven years. The results showed that conventional tillage with rice-seedling throwing did not significantly affect morphology, but no-tillage with rice-seedling throwing formed new morphology of sub-plough-layer. The upper layers in no-tillage treatments became looser, more acidic and blacker compared with conventional tillage. The rice roots were concentrated in the surface layer and the location of fissures was raised in the plough layers in the no-tillage treatments. The plough layer solum constitutions of no-tillage without rice straw returning to paddy soils was Aa1- Aa2- Aa3, while that of no-tillage with rice straw returning to paddy soils was O-Aa1- Aa2- Aa3. The no-tillage with rice straw returning to paddy soil reduced soil density and had more iron-humus mottling, blacker and looser plough layers, but the no-tillage without rice straw returning to paddy soils tended to have solid sub-layer and thinner upper layer. Thus the profile formed by no-tillage with rice straw returning to paddy soils is the best to coordinate soil fertility.

Key words: No-tillage with rice-seedling throwing, Rice straw returning to paddy soil, Paddy soil, Constitution of solum, Profile morphological characteristics