

中亚热带稻田不同耕作栽培和施肥模式对土壤肥力的影响^①

柳开楼¹, 李亚贞¹, 秦江涛^{2*}, 夏桂龙³, 刘金花²,
胡惠文¹, 周利军¹, 叶会财¹, 徐小林¹

(1 江西省红壤研究所, 国家红壤改良工程技术研究中心/农业部江西耕地保育科学观测实验站, 南昌 330046;

2 中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008; 3 江西省邓家埠水稻原种场, 江西余江 335200)

摘要: 水稻轻型化栽培技术是我国南方双季稻区发展的重要方向。为深入比较和评估不同轻型栽培方式对土壤肥力的影响, 本研究于 2008 年开始在中亚热带设置了耕作方式(深翻耕和浅旋耕)、秸秆还田与否和栽培方式(直播、抛秧和插秧)的田间试验, 系统分析了水稻产量、土壤有机质和氮磷钾养分的变化规律。研究结果显示: 耕作和栽培方式不会显著影响水稻产量变化; 但秸秆还田后水稻产量比不还田增加 1.6% ~ 7.6%。在土壤培肥方面, 不同栽培方式下土壤有机质和养分的变异较大, 而浅旋耕和秸秆还田则能显著提高耕层土壤的有机质和速效养分。与深翻耕相比, 浅旋耕方式下土壤有机质、碱解氮、有效磷、速效钾含量分别提高了 5.1% ~ 11.5%、2.2% ~ 10.4%、5.5% ~ 29.2%、7.8% ~ 22.1%。与秸秆不还田相比, 秸秆还田处理的土壤有机质、碱解氮、有效磷、速效钾含量分别增加了 2.7% ~ 6.6%、3.4% ~ 5.5%、2.2% ~ 5.0%、16.3% ~ 49.3%。因此, 浅旋耕和秸秆还田可以显著提高土壤肥力, 且水稻产量稳定, 在中亚热带地区具有很大的推广前景。

关键词: 浅旋耕; 秸秆还田; 水稻产量; 土壤肥力

中图分类号: S158.3

传统翻耕在世界农业中的应用历史悠久, 范围广泛, 为农业生产的发展做出了巨大的贡献, 但翻耕不仅增加了生产成本, 而且频繁地耕翻破坏了土壤的原状稳态结构, 导致土壤肥力退化。大量研究表明, 以秸秆还田和免耕直播为主的轻简化栽培模式能够改善土壤结构, 提高土壤有机质及养分含量, 可以实现水稻高产^[1-3]。此外, 免耕还具有省时省工, 提高劳动生产率的优点, 而秸秆还田则避免了秸秆焚烧造成的资源浪费和环境污染。目前, 国内外的大量研究已经证实, 秸秆还田和少免耕可以有效维持土壤肥力和提高作物产量^[4-8]。不同耕作方式对土壤养分含量尤其是不同土层的分布有较大的影响, 免耕下土壤有机质和氮磷钾养分有富集于表土的趋势, 且随免耕年限增加而增加^[9-10]。在上层土壤中, 免耕 + 秸秆还田处理的有机质含量分别比免耕、常耕 + 秸秆还田和常耕处理高 5.33、2.79 和 5.37 g/kg; 全氮、全磷、全钾、碱解氮、速效磷和速效钾含量也均以免耕 + 秸秆还田

处理最高, 免耕和常耕 + 秸秆还田处理次之, 常耕处理最低^[11]。黄景等^[12]研究发现, 稻草还田免耕形成的耕作层构型是 O-Aa1-Aa2-Aa3, 鳝血斑的数量增加、土壤颜色加深、疏松和体积质量降低。同时以稻草还田免耕抛秧形成的土壤剖面可以较好地培肥土壤, 且认为稻草还田免耕抛秧是稻田免耕栽培的发展方向^[13]。在双季稻区, 李琳等^[14]研究发现秸秆还田可以显著提高土壤各层总有机碳, 免耕处理增加了 0 ~ 10 cm 土层土壤的总有机碳含量, 而旋耕和翻耕则提高了 10 ~ 20 cm 土层土壤的总有机碳含量; 其中旋耕提高 0 ~ 10 cm 土层土壤总有机碳含量和秸秆还田提高土壤各层总有机碳含量具有可持续增加的潜力。段华平等^[15]研究表明, 秸秆还田能够促进直播稻田的土壤有机碳含量, 稳定直播稻田系统的生产力。综上所述, 秸秆还田和少免耕对生产力和土壤肥力的好处已经得到广泛的证实。但是, 随着水稻直播、抛秧等轻简化栽培技术的发展, 目前已有大量资料证实

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项(201203030; 201003016)、国家重点基础研究发展计划(973 计划)子课题(2011CB100501-S06)和江西省科技支撑计划项目(20141BBF60050)资助。

* 通讯作者(jtqin@issas.ac.cn)

作者简介: 柳开楼(1984—), 男, 河南滑县人, 硕士, 助理研究员, 主要从事土壤肥料方面的研究。E-mail: liukailou@163.com

稻农们已经开始在轻简化栽培技术上进行秸秆还田和少免耕模式,然而,目前有关三者相互作用下土壤肥力的变化还鲜有报道。因此,本研究以中亚热带地区的传统耕作方式(深翻耕)和种植方式(插秧)为对照,比较研究了轻型耕作(浅旋耕)和秸秆还田下早晚稻轻简化方式(直播和抛秧)对水稻产量、土壤有机质和养分性状的影响,以探明中亚热带地区少免耕、秸秆还田与轻简化栽培技术下水稻土肥力的变化规律,为该地区的水稻土培肥和水稻生产提供理论依据和技术支撑。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于 2008 年晚稻季、2009 年早晚稻季和 2010 年早稻季进行,试验地位于江西省余江县(28°15'N, 116°55'E)邓家埠水稻原种场。该地区属于中亚热带湿润季风气候区,月平均最高气温与最低气温分别为 29.9℃和 5.5℃,年均温 17.6℃,年积温 6 480℃,年均降雨量 1 727 mm,无霜期 289 天。供试稻田土壤属于河流冲积土发育而成的发生学上的潜育型水稻土亚类中的潮泥田土属,土壤 pH 5.5,有机质 36.77 g/kg,全氮、全磷和全钾为 1.98、0.36、30.76 g/kg,碱解氮、有效磷和速效钾为 168.13、8.93、147.5 mg/kg。试验期间的温光数据详见图 1。

1.2 试验设计

本试验采用 3 因素裂区设计,主区为耕作方式,裂区为栽培方式,再裂区为秸秆还田方式,共 12 个处理,每处理 3 个重复,共 36 个小区,每小区 80 m²。耕作方式为深翻耕与浅旋耕;3 种栽培方式分别为插秧、抛秧、直播;秸秆还田方式为地上部秸秆移出与秸秆全量还田。深翻耕使用当地传统的五铧犁进行翻耕,深度为 20~25 cm,浅旋耕由江苏灌云县黄海机械有限公司生产的 1GSP-200 型旋耕复合作业水田平整机进行翻耕,深度为 8~10 cm。秸秆还田处理在水稻成熟后,采用久保田联合收割机距离田面 10 cm 左右收割,稻草粉碎长度 5~10 cm 左右,均匀分散于田面。晚稻秸秆还田处理在早稻收割后,秸秆随着晚稻犁田的进行翻入田里,而早稻秸秆还田处理为晚稻秸秆经过一个冬天的泡田期后在早稻犁田时翻入田里。秸秆还田量为干稻草 8 200 kg/hm²,干稻草的养分分为 C 421 g/kg, N 8.70 g/kg, P 1.52 g/kg, K 22.72 g/kg。

1.3 供试品种与肥料运筹

晚稻品种金优 299,生育期 110~115 天,此品种适合晚稻直播,当地产量普遍可达到 6 750 kg/hm²。

早稻品种中选 181,生育期 108 天左右,能为双抢期间节省时间,当地产量普遍可达到 6 750 kg/hm²。

各处理的总施肥量均为纯 N 180 kg/hm²、P₂O₅ 90 kg/hm²、K₂O 165 kg/hm²,氮肥为尿素,磷肥为钙镁磷肥,钾肥为氯化钾。不同种植方式下早、晚稻的基本苗(播种量)和施肥方式略有不同,插秧下的早、晚稻基本苗为 25 万株/hm²,磷肥均作为基肥一次性施入,尿素按基肥:分蘖肥:穗肥=6:3:3 的比例分次施入,钾肥按基肥:分蘖肥:穗肥=3:3:4 的比例分次施入。抛秧下的晚稻基本苗为 47 万株/hm²,早稻为 41 万株/hm²,施肥时期及用量同插秧。直播下的早、晚稻播种量 75 kg/hm²,磷肥作基肥一次性施入,尿素按基肥:分蘖肥 1:分蘖肥 2:穗肥=3:2:3:4 的比例分次施入,钾肥按基肥:分蘖肥 1:分蘖肥 2:穗肥=3:2:2:3 的比例分次施入。

1.4 测定指标和方法

1.4.1 产量测定 水稻成熟期各小区进行单打单收,晒干后称重得产量,并换算成每公顷产量。

1.4.2 样品采集 在 2008 年晚稻到 2010 年早稻(4 季水稻)收获后,每小区随机采集耕层 0~20 cm 土壤样品,同一小区样品混合后独立分装。采集的新鲜土样立即带回实验室自然风干,之后用于土壤全量和速效养分的测定。

1.4.3 土壤有机质和养分分析 土壤有机质采样浓硫酸重铬酸钾外加热法;土壤全氮为半微量凯氏法;土壤全磷为用氢氟酸-高氯酸消煮钼锑抗比色法;土壤全钾为氢氟酸-高氯酸消煮火焰光度计法;土壤碱解氮为碱解扩散法;土壤有效磷为碳酸氢钠法;土壤速效钾为醋酸铵浸提火焰光度计法。以上所有测定方法的详细步骤参考《土壤农业化学分析方法》^[16]。

1.5 数据分析:

所有试验结果均以 3 次重复的平均值表示。采用 SPSS16.0 软件对数据进行 3 因素方差分析,采用 LSD 法进行显著性检验($P<0.05$),图件采用 Origin 8.1 进行制作。

2 结果与分析

2.1 不同耕栽模式对水稻产量的影响

在中亚热带地区,秸秆还田与否显著影响早晚稻产量变化,而耕作和栽培方式对产量的影响较小(表 1)。不同耕作方式下的 4 季水稻产量均表现出浅旋耕处理低于深翻耕处理(下降幅度分别为 0.3%、2.1%、0.4% 和 3.6%),且在第 4 季时产量显著下降;与秸秆不还田处理相比,秸秆还田后 4 季水稻产量分别增加 1.6%、6.7%、7.1% 和 7.6%,且后 3 季水稻增产

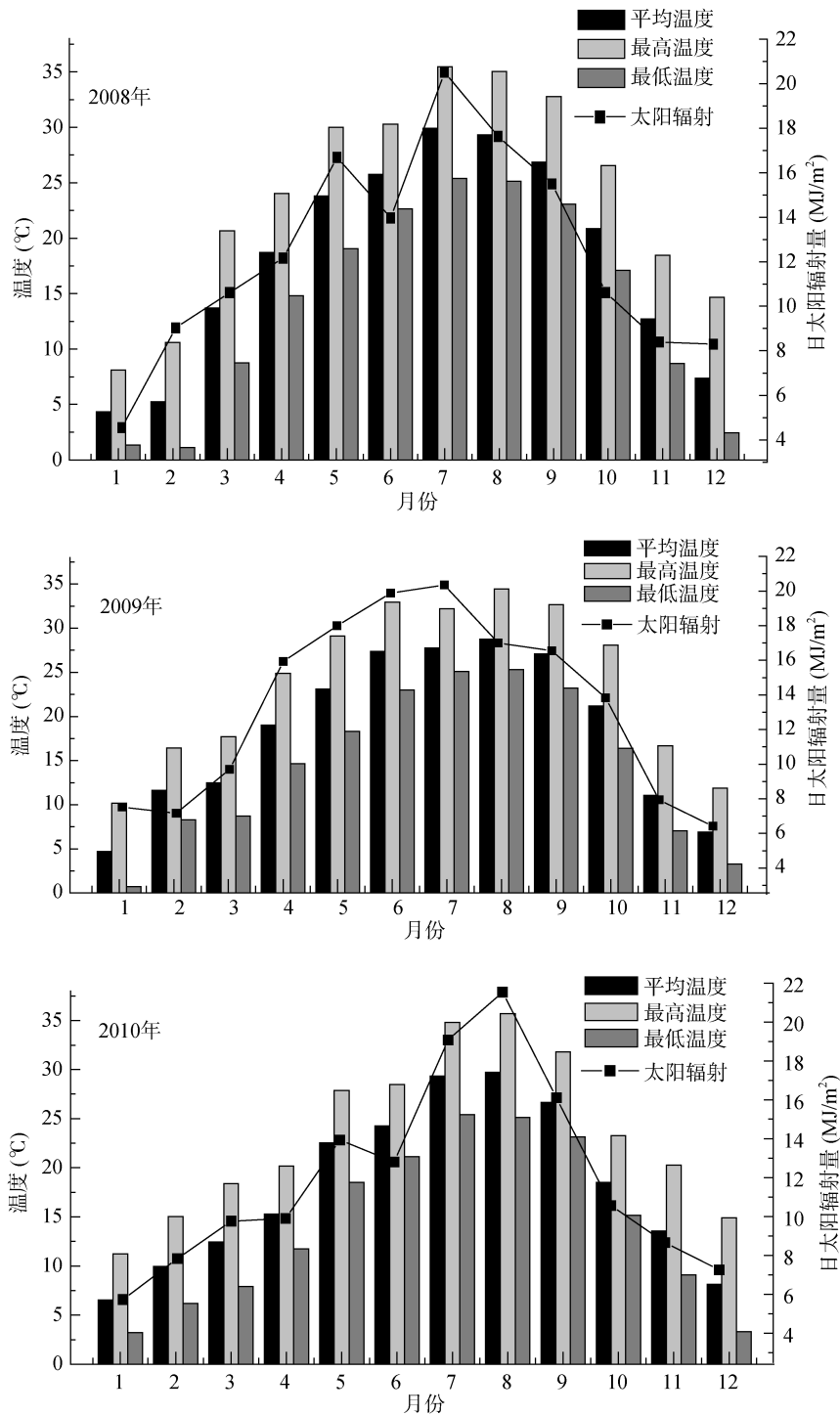


图 1 2008—2010 年江西省余江县各月份的温光资源变化
 Fig. 1 Changes of solar radiation and temperature at Yujiang County from 2008 to 2010

效果显著 ;而在不同栽培方式之间 ,与插秧处理相比 ,抛秧和直播处理 2008 年晚稻产量分别增加 2.12%、2.74%(2009 年早稻产量增幅为 2.14%、0.95%),但增产效果均不显著。综合 2 季平均值来看,晚稻以深翻耕、秸秆还田和抛秧组合产量最高,早稻以深翻耕、秸秆还田和直播组合产量最高。

2.2 不同耕栽模式对土壤有机质的影响

土壤耕层的有机质含量受耕作方式和秸秆还田

与否的影响较大(图 2)。除了试验开始后第 1 季(2008 年晚稻收获后)土壤有机质含量不存在显著差异之外,其余生长季中,浅旋耕处理和秸秆还田处理均能显著提高土壤有机质含量。与深翻耕处理相比,浅旋耕方式下两季早稻和 2009 年晚稻收获后土壤有机质含量分别提高 7.8%、11.5%、5.1%。这说明浅旋耕处理有利于土壤耕层有机质的积累。秸秆还田后,4 季水稻收获后的土壤有机质含量均有所增加。与秸秆不

表 1 不同耕作、秸秆和栽培方式下水稻产量变化
Table 1 Changes of rice yields in different treatments of tillage, straw and transplanting

处理		水稻籽粒产量(t/hm ²)			
		2008 晚稻	2009 早稻	2009 晚稻	2010 早稻
耕作	深翻	8.61 ± 0.07	8.10 ± 0.04	8.61 ± 0.07	8.61 ± 0.18
	浅旋	8.43 ± 0.11	8.07 ± 0.05	8.43 ± 0.11	8.29 ± 0.13
	LSD _{0.05}	ns	ns	ns	0.31*
秸秆	移除	8.24 ± 0.21	7.81 ± 0.11	8.24 ± 0.21	8.14 ± 0.14
	还田	8.79 ± 0.16	8.36 ± 0.12	8.79 ± 0.16	8.76 ± 0.10
	LSD _{0.05}	0.30**	0.16***	0.30**	0.31***
栽培	插秧	8.43 ± 0.26	8.00 ± 0.07	8.43 ± 0.26	8.37 ± 0.37
	抛秧	8.61 ± 0.18	8.32 ± 0.13	8.61 ± 0.18	8.37 ± 0.34
	直播	8.51 ± 0.22	7.94 ± 0.05	8.51 ± 0.22	8.61 ± 0.30
	LSD _{0.05}	ns	0.19*	ns	ns

注：ns 表示没有差异，*、**和*** 分别表示在 $P<0.05$ 、 $P<0.01$ 和 $P<0.001$ 水平差异显著，下同。

还田处理相比, 秸秆还田处理的土壤有机质含量分别增加了 2.7%、4.6%、5.2% 和 6.6%。不同栽培方式之间, 总体来看, 直播和抛秧处理能提高后 3 季水稻的土壤有机质含量, 且差异不显著。除了 2009 年早稻收获后抛秧和直播处理的有机质含量显著高于插秧处理, 其他生长季均不存在显著差异。

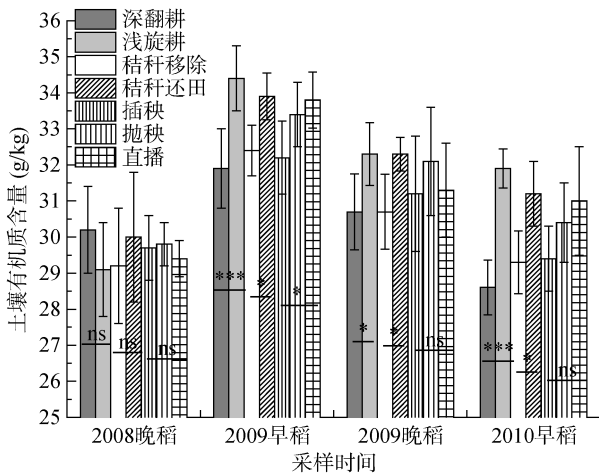


图 2 不同耕作、秸秆处理和种植下水稻收获后土壤有机质的变化

Fig. 2 Changes of soil organic matters in different treatments of tillage, straw and transplanting

2.3 不同耕栽模式对土壤全量养分的影响

与深翻耕处理相比, 浅旋耕方式提高了早晚稻收获后的土壤全氮量(图 3)。从 2008 年晚稻收获到 2010 年早稻结束, 浅旋耕处理下土壤全氮含量分别比深翻耕处理提高了 5.4%、9.1%、3.6%、9.5%, 且早稻收获后两种耕作方式的土壤全氮含量差异显著。与秸秆不还田处理相比, 秸秆还田后 2009 年早稻后土壤全氮含量增加 3.3%, 2009 年和 2010 年晚稻后土壤全氮含量分别增加 3.0% 和 1.2%, 但增幅不显著。3 种栽

培方式下 4 季水稻收获后土壤全氮含量均表现出抛秧和直播处理高于插秧处理, 但除了 2008 年晚稻后和 2009 年早稻后其余生长季增加均不显著。

耕作方式和秸秆还田与否对土壤全磷和全钾含量不存在显著影响(图 3)。与深翻耕处理相比, 早晚稻收获后浅旋耕处理的土壤全磷含量分别提高 1.2%、0.9%、5.9% 和 3.6%, 全钾分别增加 0.7%、1.1%、1.0% 和 0.3%, 但增幅均不显著; 秸秆还田后, 2009 年晚稻后和 2010 年早稻后土壤全磷和全钾含量增幅较小。3 种栽培方式下早晚稻收获后土壤全磷含量差异较小(除了 2009 年早稻后), 且土壤全钾含量不存在显著规律。

2.4 不同耕栽模式对土壤速效养分的影响

浅旋耕和秸秆还田处理可以显著提高耕层土壤碱解氮含量(图 4)。与深翻耕处理相比, 2008 年晚稻后至 2010 年早稻后浅旋耕处理的土壤碱解氮含量分别增加 2.2%、8.3%、10.4% 和 5.8%。与秸秆不还田处理相比, 在早晚稻收获后秸秆还田处理的碱解氮含量分别提高 4.5%、3.7%、5.5% 和 3.4%。但 3 种栽培方式下的土壤碱解氮含量不存在显著差异(除了 2010 年早稻)。

耕层土壤有效磷含量主要受耕作和种植方式的影响(图 4)。浅旋耕处理下早晚稻收获后的土壤有效磷含量均显著高于深翻耕处理, 增幅分别为 5.5%、15.7%、29.2% 和 24.1%。但秸秆还田与否对早晚稻收获后的土壤速效磷含量无显著差异。抛秧和直播处理的土壤有效磷含量显著提高, 与插秧处理相比, 抛秧方式下的两季早稻和 2009 年晚稻后土壤有效磷含量分别增加 2.2%、5.0% 和 4.7%, 直播处理的增幅分别为 2.9%、7.2% 和 3.1%。

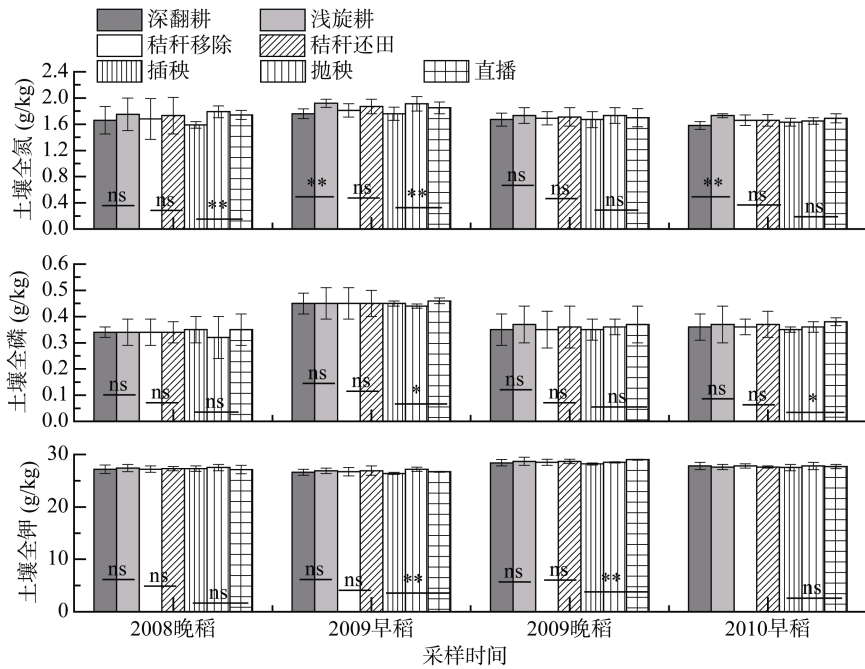


图 3 不同耕作、秸秆处理和种植方式下土壤氮磷钾总量的变化

Fig. 3 Changes of soil total nitrogen, phosphorus and potassium contents in different treatments of tillage, straw and transplanting

耕作、秸秆和栽培方式均可以显著影响土壤速效钾含量(图 4)。浅旋耕方式下早晚稻收获后的土壤速效钾含量依季节分别比深翻耕处理增加 7.8%、14.1%、14.9% 和 22.1%，且两季早稻和 2009 年晚稻后土壤速效钾含量增幅显著。秸秆还田后早晚稻收获后的土壤速效钾含量均显著增加，与秸秆不还田处理相比，秸秆还田处理早晚稻收获后土壤速效钾含量分

别增加了 16.3%、49.3%、40.7% 和 45.6%。在不同种植方式中，两季早稻和 2008 年晚稻收获后土壤速效钾均表现出插秧处理最低，抛秧处理最高。与插秧处理相比，2008 年晚稻、2009 年早稻和 2010 年早稻收获后，抛秧方式下的土壤速效钾含量分别增加 8.8%、8.8% 和 27.2%，直播方式下的土壤速效钾含量分别增加 2.0%、5% 和 14.2%。

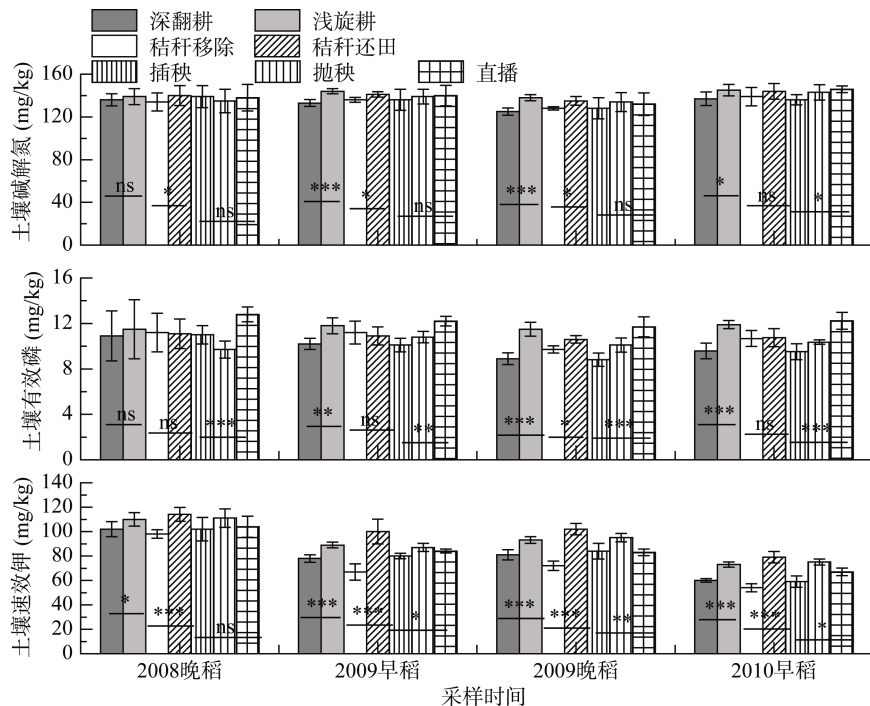


图 4 不同耕作、秸秆和种植方式下土壤速效养分的变化

Fig. 4 Changes of soil available nutrients in different treatments of tillage, straw and transplanting

3 讨论

各种耕作方式都会对土壤造成不同程度的扰动。土壤受扰动时,土壤团聚体被破坏,土壤结构也会产生变化,进而改变土壤微生物生态环境,使土壤透气性和土壤含水量等条件发生变化,对土壤微生物的组成、数量及活性、根系生物量大小产生影响,从而导致土壤养分的变化,影响到水稻植株生长。传统的深翻耕方式破坏土壤的团聚体结构,使土壤有机质失去保护暴露出来,加速土壤有机质的分解^[4,17],而少免耕措施既可降低土壤有机碳的侵蚀,提高农业可持续发展能力,又可延长土壤中秸秆等有机质的循环周期^[6,18-19]。然而,在本项目所在的中亚带地区,传统的双季稻种植模式为深耕+插秧方式,并在水稻收获后进行秸秆粉碎还田,其水稻全年产量与本研究中的浅旋耕均为 16 t/hm²左右,说明浅旋耕模式不会导致双季稻区的水稻减产。因此,虽然浅旋耕的水稻产量略有降低,但与深翻耕相比,浅旋耕处理的耕层土壤有机质含量增加了 5.1%~11.5%,但土壤全氮、全磷和全钾含量的增幅均不显著;在速效养分上,与深翻耕处理相比,浅旋耕方式下土壤碱解氮、速效磷和速效钾含量均显著增加,增幅分别为 2.2%~10.4%、5.5%~29.2% 和 7.8%~22.1%。这可能与两种耕作方式下的水稻根系分布有关。深翻耕方式加深根系下移^[20],且随着根系分布的加深,根系分布也越广,其活性大,分泌物也多,同时可吸收利用深层养分^[21]。玉宝洪等^[22]认为,深耕提高了土壤耕层厚度,但耕层有机质和有效养分的含量下降;而少耕或浅耕有利于增加土壤表层肥力。李琳等^[23]的研究也发现,少免耕可提高土壤 0~20 cm 土层活性碳;同时少免耕处理的无机磷和钾在表层聚集较多^[24]。

秸秆本身含有一定量的氮、磷、钾及各种微量元素,其在分解过程中产生的有机酸等中间产物可使土壤中一些养分的有效性增加^[25]。此外,秸秆在水田土壤施用还会影响土壤碳氮比(C/N)、氧化还原状况、pH、比电导和养分的转化^[26],从而导致其在还田初期造成作物减产,但是,本研究的结果显示试验初期(2008 年晚稻季)的水稻产量不存在显著降低,这可能与本试验的秸秆还田是在耕作方式下设置的裂区有关,并且深耕和浅旋耕处理可能改变了秸秆还田下的土壤 C/N,但具体原因还有待进一步分析研究。本研究结果显示,秸秆还田可以显著提高水稻产量,与秸秆不还田处理相比,秸秆还田后土壤有机质含量增加了 2.7%~6.6%,而土壤全氮、全磷及全钾含量则略有提高,碱解氮和速效钾含量的增幅分别为 3.4%~

5.5%、16.3%~49.3%,但有效磷含量则不存在显著提高。这是因为在相同的化肥用量下,秸秆还田处理明显提高了碳氮钾的投入比例,其在改变土壤 C/N 时影响了水稻根系的养分吸收,进而改变了土壤的养分平衡,这是本研究中土壤有机质、碱解氮和速效钾增加的主要原因。同时,秸秆还田还加速了土壤物质的生物循环,促进土壤有益微生物的生长,从而改善养分供应状况,培肥地力^[27]。这与很多人的研究相一致^[28-30]。

不同种植方式下,水稻生长环境发生很大的变化,生长发育受到一定的影响,与传统的插秧方式相比,抛秧和直播处理的水稻根系主要集中在土壤表层^[31-32],且根长和根数较少^[28]。同时,植株从土壤中带走的养分与植株个体及其群体大小有关,本研究的前期结果表明,3 种植方式下,水稻群体密度直播处理最大,抛秧处理次之,插秧处理最低^[3]。在本试验中,受 3 种栽培方式下的水稻根系及群体密度和早晚稻本身吸肥的影响,不同栽培方式对土壤有机质和养分的影响差异较大,土壤全氮、全钾和速效钾含量大部分呈现出抛秧方式最高,但土壤有机质、全磷和有效磷含量则是直播方式最高。这可能与直播和抛秧方式的根系生物量、分泌物、根长和根尖数等有关,其具体原因还有待进一步研究。

4 结论

- 1) 浅旋耕处理的水稻产量均略低于深翻耕处理,但是,浅旋耕处理可以有效培肥土壤,与深翻耕处理相比,其耕层土壤的有机质含量增加了 5.1%~11.5%,土壤碱解氮、速效磷和速效钾含量分别提高了 2.2%~10.4%、5.5%~29.2%和 7.8%~22.1%。
- 2) 秸秆还田可以显著提高水稻产量和土壤肥力,其水稻产量比秸秆不还田处理增加 1.6%~7.6%;同时,秸秆还田后土壤有机质增加 2.7%~6.6%,碱解氮和速效钾分别增加 3.4%~5.5%、16.3%~49.3%。
- 3) 抛秧和直播处理的增产效果与插秧处理不存在显著差异。然而,不同栽培方式下土壤有机质和养分的差异较大,建议今后应从根系特征的角度探讨其内在变化机制。

参考文献:

- [1] Zhang B, Pang CQ, Qin JT, Liu KL, Xu H, Li HX Rice straw incorporation in winter with fertilizer-N application improves soil fertility and reduces global warming potential from a double rice paddy field[J]. *Biology and fertility of soils*, 2013, 49(8): 1 039-1 052

- [2] 马二登, 纪洋, 马静, 徐华, 蔡祖聪. 耕种方式对稻田甲烷排放的影响[J]. 生态与农村环境学报, 2010, 26(6): 513-518
- [3] 刘金花, 秦江涛, 张斌, 夏桂龙, 陆金贵, 甘三芽, 余瑞新. 中亚热带双季水稻轻型种植和耕作模式评价[J]. 土壤, 2012, 44(3): 482-491
- [4] 吴文革, 张玉海, 汪新国, 杨惠成, 郑乐娅, 闫川. 水稻少免耕栽培研究进展[J]. 土壤, 2008, 40(5): 712-718
- [5] 周胜, 宋祥甫, 颜晓元. 水稻低碳生产研究进展[J]. 中国水稻科学, 2013, 27(2): 213-222
- [6] Lu F, Wang X, Han B, Ouyang Z, Duan X, Zheng H, Miao H. Soil carbon sequestrations by nitrogen fertilizer application, straw return and no-tillage in China's cropland[J]. *Global Change Biology*, 2009, 15(2): 281-305
- [7] Mandal KG, Misra AK, Hati KM, Bandyopadhyay KK, Ghosh PK, Mohanty M. Rice residue-management options and effects on soil properties and crop productivity[J]. *Journal of Food Agriculture and Environment*, 2004, 2: 224-231
- [8] Whitbread A, Blair G, Konboon Y, Lefroy R, Naklang K. Managing crop residues, fertilizers and leaf litters to improve soil C, nutrient balances, and the grain yield of rice and wheat cropping systems in Thailand and Australia[J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2003, 100(2): 251-263
- [9] 吴建富, 潘晓华, 石庆华, 刘宗发, 胡金和. 不同耕作方式对水稻产量和土壤肥力的影响[J]. 植物营养和肥力学报, 2008, 14(3): 496-502
- [10] 杜兴彬, 罗利军, 陈晨, 李双喜, 刘国兰, 王飞名, 余新桥. 稻-油轮作连续免耕直播对作物产量及土壤理化性状的影响[J]. 中国水稻科学, 2013, 27(6): 617-623
- [11] 任万军, 黄云, 吴锦秀, 刘代银, 杨文钰. 免耕与秸秆高留茬还田对抛秧稻田土壤酶活性的影响[J]. 应用生态学报, 2011, 22(11): 2 913-2 918
- [12] 黄景, 顾明华, 徐世宏, 杨为芳, 江立庚. 稻草还田免耕抛秧对土壤剖面氮、磷、钾含量的影响[J]. 中国农业科学, 2012, 45(13): 2 648-2 657
- [13] 黄景, 顾明华, 徐世宏, 杨为芳, 江立庚. 稻草还田免耕抛秧对水稻土剖面形态特征的影响[J]. 土壤, 2012, 44(4): 696-703
- [14] 李琳, 伍芬琳, 张海林, 陈阜. 双季稻区保护性耕作下土壤有机碳及碳库管理指数的研究[J]. 农业环境科学学报, 2008, 27(1): 248-253
- [15] 段华平, 牛永志, 卞新民. 耕作方式和秸秆还田对直播稻田土壤有机碳及水稻产量的影响[J]. 水土保持通报, 2012, 32(3): 23-27
- [16] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1999
- [17] 黄昌勇. 土壤学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000
- [18] Reicosky DC, Dugas WA, Torbert HA. Tillage-induced soil carbon dioxide loss from different cropping systems[J]. *Soil and Tillage Research*, 1997, 41: 105-118
- [19] Morris DR, Gilbert RA, Reicosky DC, Gesch RW. Oxidation potentials of soil organic matter in histosols under different tillage methods. *Soil Science Society of America Journal*, 2004, 68: 817-826
- [20] 曹敏建. 耕作学[M]. 中国农业出版社, 2002
- [21] 李凤博, 牛永志, 高文玲, 刘金根, 卞新民. 耕作方式和秸秆还田对直播稻田土壤理化性质及其产量的影响[J]. 江苏农业科学, 2006, (6): 388-391
- [22] 玉宝洪, 李桂山, 蒙定球. 深耕和增施有机肥对土壤肥力及水稻产量的影响[J]. 土壤肥料, 1997(6): 33-34
- [23] 李琳, 伍芬琳, 张海林, 陈阜. 双季稻区保护性耕作下土壤有机碳及碳库管理指数的研究[J]. 农业环境科学学报, 2008, 27(1): 248-253
- [24] 董竹蔚. 旱地玉米及高粱免耕整株秸秆覆盖蓄水肥田增产效应[M]. 中国少耕免耕与覆盖技术研究. 北京: 北京科学技术出版社, 2001: 93-97
- [25] 单玉华, 蔡祖聪, 韩勇. 淹水土壤有机酸积累与秸秆碳氮比及氮供应的关系[J]. 土壤学报, 2006, 43(6): 941-947
- [26] 耿玉辉, 吴景贵. 作物残体培肥土壤的研究进展[J]. 吉林农业大学学报, 2000, 22(2): 76-79
- [27] Pan GX, Zhao QG. Study on evolution of organic carbon stock in agricultural soils of China: Facing the challenge of global change and food security. *Advances in Earth Science*, 2005, 20(4): 384-39
- [28] Hooker BA, Morris TF, Peters R. Long-term effects of tillage and corn stalk return on soil carbon dynamics. *Soil Science Society of America Journal*, 2005, 69(2): 188-196
- [29] 邱孝煊, 蔡元呈, 林勇, 张辉. 稻草还田对红壤性水稻土肥力的影响[J]. 中国农学通报, 2006, 22(1): 188-191
- [30] 肖小平, 汤海涛, 纪雄辉. 稻草还田模式对稻田土壤速效氮、钾含量及晚稻生长的影响[J]. 作物学报, 2008, 34(8): 1 464-14 69
- [31] 魏优亮, 黎国富. 免耕抛秧等三种栽培方式对水稻生长发育和产量的影响[J]. 作物研究, 2007(1): 11-13
- [32] 陈莉, 危少勇, 乐明祥, 吴锋仁, 杨俊玲, 洪显荣. 水稻不同栽培方式对比试验小结[J]. 江西农业学报, 2008, 20(5): 123-125
- [33] 任万军, 杨文钰, 樊高琼, 陈德春, 吴锦秀. 不同种植方式对土壤肥力和水稻根系生长的影响[J]. 水土保持学报, 2007, 21(2): 108-110

Effects of Different Tillage, Straw Returning and Transplanting Methods on Paddy Soil Fertility in Middle Subtropical Region

LIU Kai-lou¹, LI Ya-zhen¹, QIN Jiang-tao^{2*}, XIA Gui-long³, LIU Jin-hua²,
HU Hui-wen¹, ZHOU Li-jun¹, YE Hui-cai¹, XU Xiao-lin¹

(1 *Jiangxi Institute of Red Soil, National Engineering and Technology Research Center for Red Soil Improvement/Scientific Observational and Experimental Station of Arable Land Conservation in Jiangxi, Ministry of Agriculture, Nanchang 330046, China*; 2 *Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China*; 3 *Plantation of Dengjia Town of Jiangxi Province, Yujiang, Jiangxi 335200, China*)

Abstract: To evaluate the effects of light cultural techniques on soil fertility, a field experiment was conducted in the northeast of Jiangxi from 2008, which including deep and shallow tillage, with or without straw returning and direct seeding (DS), throwing seeding (TS) and transplantation (TP). The results showed that straw returning could increase grain yield of early and late rice by 1.6% to 7.6% compared without straw returning. The shallow tillage and straw returning could improve soil organic matter and available nutrient contents significantly. Compared with deep tillage, soil organic matter, alkali-hydrolysable nitrogen, available phosphorus and potassium of shallow tillage were increased by 5.1%–11.5%, 2.2%–10.4%, 5.5%–29.2% and 7.8%–22.1%, respectively. Compared with the treatments without straw returning, soil organic matter, alkali-hydrolysable nitrogen, available phosphorus and available potassium were increased by 2.7%–6.6%, 3.4%–5.5%, 2.2%–5.0% and 16.3%–49.3% respectively in the treatments with straw returning. This indicates that shallow tillage and straw returning could improve paddy soil fertility and grain yield in the middle subtropical region.

Key words: Shallow rotary tillage; Straw returning; Rice yield; Soil fertility