

赣东北双季水稻轻型种植和耕作模式评价^①

刘金花^{1,4}, 秦江涛¹, 张 斌^{1,2*}, 夏桂龙³, 陆金贵³, 甘三芽³, 余瑞新³

(1 中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008; 2 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所, 北京 100081;

3 江西省邓家埠水稻原种场, 江西余江 335200; 4 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘 要: 近年来水稻轻型化栽培技术发展迅速, 但很少有与传统人工移植的比较研究报道, 对轻型化栽培技术能否获得高产尚存在争论。本文通过赣东北余江县的田间试验研究了直播、抛秧和插秧 3 种植方式以及机械深翻耕与浅旋耕秸秆还田对两年早稻和晚稻生长、产量及经济效益的影响。结果表明, 与插秧处理相比, 直播处理缩短了水稻生育期; 直播和抛秧处理降低了单株分蘖数、单株均重、成穗率和穗粒数; 但提高了拔节后叶面积指数 (LAI) 和每平方米穗数。除 2009 年抛秧处理晚稻产量显著高于直播和插秧处理外, 3 种植方式下的其他 3 季水稻产量无显著差异。与传统深耕处理相比, 浅旋耕处理增加了水稻生长前期的分蘖数和单株干重, 但降低了水稻生长后期 LAI, 并降低了成穗率, 从而导致水稻产量下降。与秸秆不还田处理相比, 秸秆机械还田处理能够提高抽穗后的水稻干物质积累和成穗率, 从而提高了水稻产量, 且显著性随时间而增加。综合而言, 早稻以深翻耕、直播和秸秆还田组合产量最高, 而晚稻以深翻耕、抛秧和秸秆还田组合产量最高。从经济效益来看, 与深翻耕插秧组合相比, 浅旋耕抛秧和浅旋耕直播组合下早稻成本分别降低了 16.4% 和 22.3%, 晚稻成本分别降低了 14.5% 和 18.3%。

关键词: 水稻; 轻型栽培; 生长; 产量; 经济效益

中图分类号: S314

水稻是我国主要的粮食生产作物, 提高水稻综合生产能力是保障我国粮食安全的长期战略目标^[1]。以插秧为主的传统稻作劳动量大、成本高、收益小、效率较低^[2]。随着农村劳动力大量的转移导致了劳动力短缺, 劳动力价格上涨, 传统稻作已经越来越不能满足现代稻作的需求。因而各种作物的轻型化栽培技术在全国各地兴起^[3-5]。轻型化栽培技术是基于简化程序、减少人力劳动强度、提高劳动生产率、降低作业成本的集约化技术。目前我国南方双季稻区常用的轻型化栽培技术一般包括少免耕技术^[6]、水稻直播技术^[7]、抛栽技术^[8]、稻田化控技术、以及机械化技术^[9]等。以往研究主要针对单项技术的改进和完善^[10-12], 很少在同一地区比较传统人工移植技术和轻型化栽培技术, 特别是结合种植制度和耕作方式的比较研究更少。因此人们对轻型化栽培技术能否获得高产尚存在争论。本研究通过 2008 年晚稻季至 2010 年早稻季在赣东北余江县两年的田间试验, 研究了直播、抛秧和插秧 3 种植方式以及机械深翻耕与浅旋耕秸秆还田对

早、晚稻生长、产量及经济效益的影响。研究结果为明确区域水稻生产技术的发展趋势提供了科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计与田间管理

本试验在江西省余江县邓家埠水稻原种场 (28°15'N, 116°55'E) 进行。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 6480℃, 年均降雨量 1727 mm, 无霜期 289 天。本试验供试稻田土壤属于河流冲积土发育而成的潜育型水稻土。试验土壤基本理化性质为有机质 36.77 g/kg, 全氮 1.98 g/kg, 全磷 0.36 g/kg, 全钾 30.76 g/kg, 速效氮 168.13 g/kg, 速效磷 8.93 g/kg, 速效钾 147.5 g/kg; pH 5.5。

研究区种植制度为双季水稻。本试验从 2008 年晚稻季开始, 到 2010 年早稻季结束, 共 4 季水稻。晚稻品种为金优 299, 早稻为中选 181, 两品种当地产量普遍可达到 450 kg/667m²。试验采用 3 因素裂区设计,

①基金项目: 公益性行业 (农业) 科研专项经费 (201203030、201003016) 资助。

* 通讯作者 (bzhang@caas.ac.cn)

作者简介: 刘金花 (1983—), 女, 湖南衡阳人, 硕士研究生, 主要从事水稻种植及其土壤养分研究。E-mail: jhliu@issas.ac.cn

主区为耕作方式、裂区为栽培方式，小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（DT）与浅旋耕（ST）；3 种栽培方式分别为插秧（TP）、抛秧（TS）、直播（DS）；秸秆方式为地上部秸秆移出（NS）与秸秆全量还田（S）。3 种植方式下的基本苗及肥料用量见表 1，同一种植方式下不同耕作方式与秸秆处理的基本苗及肥料运筹方式相同。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。秸秆全量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前季早稻收割后，秸秆在晚稻移栽/播种前翻耕入土，而早稻秸秆还田处理为前季晚稻秸秆经过一个冬天的泡田期后在在早稻移栽/播种前翻耕入土。

表 1 不同种植方式下的基本苗及肥料运筹

Table 1 Population density and fertilizer application in different cropping patterns

种植方式	播种量或基本苗	肥料运筹
插秧	早晚稻苗数为 25 万株/hm ²	总施肥量为 180 kg/hm ² 纯 N, 90 kg/hm ² 纯 P 和 165 kg/hm ² 纯 K。所用的肥料为尿素、钙镁磷肥和氯化钾。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, 钾肥按基肥:分蘖肥:穗肥 = 3:3:4 施入
抛秧	晚稻苗数为 47 万株/hm ² , 早稻苗数为 41 万株/hm ²	总施肥量与插秧一致。施肥时期及用量同插秧
直播	早晚稻播种量为 75 kg/hm ²	总施肥量与插秧一致。磷肥均作为基肥一次性施入。尿素按基肥:分蘖肥 1:分蘖肥 2:穗肥 = 3:2:3:4, 钾肥按基肥:分蘖肥 1:分蘖肥 2:穗肥 = 3:2:2:3 施入

1.2 测定项目与方法

1.2.1 水稻单株分蘖数、叶面积指数及地上部分干物质量 整个水稻分蘖期，每个小区定点 1 m² 样方进行水稻分蘖的观测记载，并记录每个观察样方的总穴数。移栽后每隔 7 天观测 1 次水稻分蘖数，最后一次观测距前次观测隔 14 天，单株分蘖数为水稻分蘖数/总穴数。

在水稻分蘖期、拔节期、齐穗期、灌浆期，从每试验小区取代表性植株 5 穴，按小叶干重法测定得叶面积指数。然后将植株样品剪根后于 105℃ 杀青 30 min，之后样品在 80℃ 下连续烘干至恒重并称重得地上部干物质量。

1.2.2 产量与产量构成因素 收获前每小区内取 1 m² 样方进行考种，测定穗数和穗粒数，同时采用水漂法^[13]测定结实率和千粒重。田间收获时各小区进行单打单收，晒干后称重得产量。

1.3 数据分析和处理

数据采用 Excel2003 进行处理并采用 SAS8.0 软件对数据进行 3 因素方差分析，采用 LSD 进行显著性检验（ $P \leq 0.05$ ）。

2 结果分析

2.1 水稻生长发育特征

2.1.1 水稻生育进程 从表 2 可知，4 个生长季水

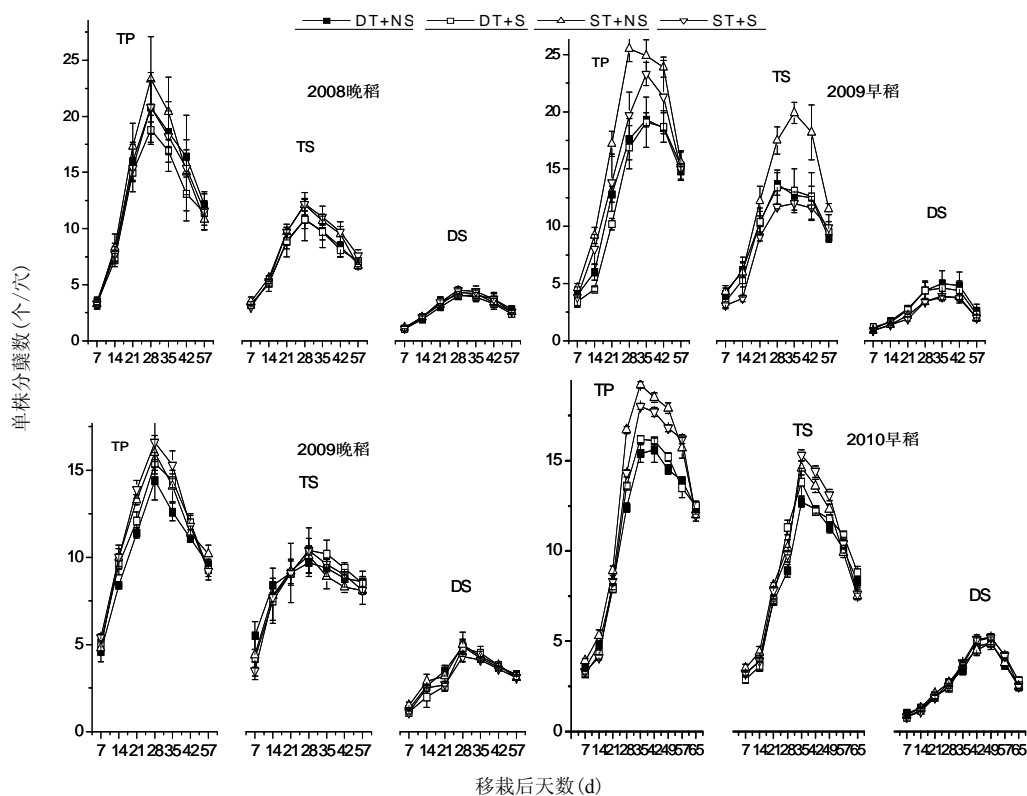
稻的全生育期天数均是直播少于插秧和抛秧。两季晚稻插秧和抛秧于同一天播种移栽，均比直播早播种 33 天，整个生育期比直播长 15 天；与直播相比，插秧和抛秧从播种到抽穗（营养生长期）的时间长了 21 天，而抽穗到成熟（生殖生长期）的时间缩短了 6 天，但有效分蘖期和拔节期均比直播要早。从两季早稻来看，2009 早稻直播的生育期比插秧和抛秧少 20 天，从播种到抽穗缩短了 19 天，而抽穗到成熟增加了 1 天。2010 早稻季，因为平均气温低，同一种植方式的生育期均比 2009 早稻长。2010 早稻季插秧和抛秧的秧田期为 38 天，比 2009 早稻秧田期长了 7 天，整个生育期比 2009 早稻多了 13 天，而 2010 早稻直播播种日期比 2009 早稻直播也晚了 5 天，整个生育期比 2009 早稻多了 9 天。

2.1.2 茎蘖动态 从晚稻和早稻分蘖动态可以看出（图 1），种植方式是影响单株分蘖数的主要因素。四季水稻各个生育期内单株分蘖数插秧处理（TP）显著高于抛秧处理（TS），抛秧处理（TS）显著高于直播处理（DS）。两季晚稻分蘖高峰均是在移栽后 28 天出现。分蘖高峰时，插秧和抛秧处理的 2008 晚稻单株分蘖数分别是直播处理的 5.0 和 2.7 倍，2009 晚稻单株分蘖分别是直播处理的 3.3 和 2.1 倍。两季早稻分蘖高峰出现时间不同。2009 早稻，插秧处理和抛秧处理分蘖高峰出现在移栽后 28 天左右，直播处理分蘖高峰

表 2 不同种植方式下早晚稻生育进程

Table 2 Process of early and late rice in different cropping patterns

生长季	种植方式	播期 (月-日)	移栽期 (月-日)	有效分蘖期 (月-日)	拔节期 (月-日)	抽穗期 (月-日)	成熟期 (月-日)	播种至抽穗 (d)	抽穗至成熟 (d)	全生育期 (d)
2008 晚稻	插秧	6-28	7-26	8-17	8-24	9-17	10-30	82	43	125
	抛秧	6-28	7-26	8-17	8-24	9-17	10-30	82	43	125
	直播	7-26		8-24	9-1	9-24	11-12	61	49	110
2009 早稻	插秧	3-15	4-16	5-6	5-17	6-11	7-10	89	29	118
	抛秧	3-15	4-16	5-6	5-17	6-10	7-10	89	29	118
	直播	4-7		5-17	5-27	6-15	7-17	70	28	98
2009 晚稻	插秧	6-28	7-26	8-17	8-24	9-16	10-30	82	43	125
	抛秧	6-28	7-26	8-17	8-24	9-16	10-30	82	43	125
	直播	7-26		8-24	9-1	9-26	11-12	61	49	110
2010 早稻	插秧	3-20	4-26	5-24	6-3	6-24	7-24	97	34	131
	抛秧	3-20	4-26	5-24	6-3	6-24	7-24	97	34	131
	直播	4-12		5-30	6-7	6-28	7-26	78	29	107



(TP 代表插秧, TS 代表抛秧, DS 代表直播, DT+NS 代表深翻耕+秸秆不还田, DT+S 代表深翻耕+秸秆还田, ST+NS 代表浅旋耕+秸秆不还田, ST+S 代表浅旋耕+秸秆还田, 下图同)

图 1 早晚稻不同处理分蘖动态

Fig. 1 Dynamics of tiller numbers at different growth stages during the two rice cropping seasons

在播种后 35 天出现。2010 早稻, 插秧处理和抛秧处理分蘖高峰出现在移栽后 35 天左右, 直播处理分蘖高峰在播种后 49 天出现。相同种植方式下, 浅旋耕及秸

秆还田对两季晚稻的分蘖数影响不大, 而对两季早稻的分蘖数影响显著, 能显著促进早稻分蘖中期的分蘖产生。而从表 3 可知, 四季水稻成穗率插秧处理最高, 抛

表 3 早晚稻不同处理下的成穗率 (%)

Table 3 Spike rates of early and late rice at different treatments

处理	2008 晚稻	2009 早稻	2009 晚稻	2010 早稻
插秧	69.55	70.13	72.26	73.94
抛秧	61.61	69.13	70.70	59.02
直播	61.60	51.27	66.73	57.75
深翻耕	67.24	72.41	71.02	74.49
浅旋耕	64.89	63.83	70.69	62.72
秸秆不还田	65.70	64.80	68.09	65.56
秸秆还田	66.37	71.08	73.74	70.80

秧处理次之，直播处理最低。深翻耕处理成穗率高于浅旋耕处理，秸秆还田处理成穗率高于秸秆不还田处理。

2.1.3 叶面积指数 (LAI) 种植方式对水稻 LAI 的影响在不同季别有所不同 (表 4)。两季晚稻生长中期的 LAI 均为直播处理极显著高于插秧和抛秧处理，

而插秧和抛秧处理之间无显著差异。两季早稻生长中后期时的 LAI 均是直播和抛秧处理高于插秧处理。

耕作方式中，与深翻耕处理相比，浅旋耕处理显著降低了 2008 晚稻拔节期和 2009 早稻齐穗期时的水稻 LAI，而显著提高了 2008 晚稻齐穗期和 2009 早稻拔节期时的水稻 LAI。而浅旋耕处理下 2009 晚稻齐穗和灌浆期的 LAI 均显著低于深翻耕处理下的 LAI，且差异极显著。2010 早稻 LAI 受耕作方式的影响与 2009 晚稻类似。

秸秆还田方式下的 4 季水稻 LAI 见表 4。2008 晚稻拔节期、2009 早稻的分蘖期和拔节期的水稻 LAI 均为秸秆还田处理显著低于秸秆不还田处理。后两季水稻分蘖期的 LAI 均为秸秆还田处理显著低于秸秆不还田处理。这说明秸秆还田对 4 季水稻 LAI 的影响主要是在水稻生长前中期。

表 4 种植方式、耕作方式、秸秆还田方式对 4 季水稻 LAI 的影响

Table 4 Effects of transplanting, tillage and straw using on LAI during the four rice seasons

生长季	生育期	种植方式			耕作方式				秸秆方式		
		插秧	抛秧	直播	LSD _{0.05}	深翻耕	浅旋耕	LSD _{0.05}	不还田	还田	LSD _{0.05}
2008 晚稻	分蘖期	4.34	4.25	4.11	ns	4.39	4.07	ns	4.41	4.05	ns
	拔节期	6.22	6.76	8.47	0.66***	7.44	6.85	0.54*	7.48	6.82	0.54*
	齐穗期	6.49	6.61	12.23	0.83***	8.32	8.57	0.68*	8.80	8.09	ns
	灌浆期	5.38	5.77	9.80	0.64***	6.97	6.99	ns	7.12	6.84	ns
2009 早稻	分蘖期	3.44	4.27	2.63	0.49**	3.27	3.63	ns	3.78	3.11	0.40**
	拔节期	5.85	6.55	5.92	ns	5.70	6.52	0.69*	6.54	5.67	0.69*
	齐穗期	6.84	7.31	6.47	0.81*	7.48	6.27	0.66**	7.03	6.72	ns
	灌浆期	5.71	6.92	6.69	0.81*	6.71	6.17	ns	6.66	6.22	ns
2009 晚稻	分蘖期	4.80	5.68	5.34	0.56*	5.41	5.13	ns	5.66	4.88	0.46**
	拔节期	6.89	7.33	10.38	0.99**	8.51	7.89	ns	8.52	7.88	ns
	齐穗期	7.67	9.30	12.52	0.72***	10.44	9.22	0.59***	9.77	9.88	ns
	灌浆期	6.26	6.55	6.52	ns	7.29	5.59	0.58***	6.59	6.30	ns
2010 早稻	分蘖期	3.47	5.71	3.15	0.46***	4.24	3.97	ns	4.37	3.85	0.38***
	拔节期	5.81	6.13	8.74	0.60***	6.74	7.05	ns	7.07	6.72	ns
	齐穗期	5.58	6.39	8.62	0.81***	7.31	6.42	0.66*	6.78	6.95	ns
	灌浆期	5.48	6.53	5.62	0.56**	6.25	5.50	0.46**	5.95	5.80	ns

注：*、**、*** 和 ns 分别代表在 $P<0.05$ 、 $P<0.01$ 、 $P<0.001$ 水平上差异显著和无显著性差异，下同。

2.1.4 干物质积累 从表 5 可知，种植方式能显著影响 4 季水稻生长期间的单株干重。4 季生长期间的单株重均为插秧处理显著高于抛秧处理，抛秧处理显著高于直播处理，且差异极显著。水稻成熟期时，插秧和抛秧处理下 2008 晚稻单株干重分别是直播处理的 6.6 和 3.1 倍，2009 早稻单株干重分别是直播处理的 8.7 和 4.9

倍，2009 晚稻单株干重分别是直播处理的 5.1 和 2.9 倍，而 2010 早稻单株干重分别是直播处理的 8.7 和 4.7 倍。与深翻耕处理相比，浅旋耕处理能显著提高 2009 早稻灌浆期之前的水稻单株干重。其他 3 季水稻生长期间的水稻单株重两种耕作方式之间无显著差异。秸秆还田后，2009 早稻的水稻单株重均显著低于秸秆不还田处

理, 2010 早稻分蘖期的水稻单株重也显著低于秸秆不还田处理。抽穗至成熟期物质生产占产量的百分比含量(表 6)有以下规律: 种植方式中, 2008 年晚稻和 2010 年早稻季直播处理最高, 2009 年早晚稻季抛秧处理最

高; 4 季水稻深翻耕处理高于浅旋耕处理; 四季水稻秸秆还田处理高于秸秆不还田处理。相关分析发现, 四季水稻抽穗后干物质积累量与产量的相关系数分别为 0.88、0.7538、0.6796 和 0.9597 (图 2)。

表 5 种植方式、耕作方式、秸秆还田方式对早晚稻单株干重的影响 (g/株)

Table 5 Effects of transplanting, tillage and straw using on aboveground dry matter (per hill) during the two rice seasons

生长季	生育期	种植方式				耕作			秸秆还田		
		插秧	抛秧	直播	LSD _{0.05}	深翻耕	浅旋耕	LSD _{0.05}	不还田	还田	LSD _{0.05}
2008 晚稻	分蘖期	9.28	4.55	1.23	0.70***	4.95	5.09	ns	5.28	4.76	ns
	拔节期	15.26	11.06	3.01	1.34***	9.60	9.95	ns	10.19	9.36	ns
	齐穗期	39.67	22.54	7.03	2.30***	22.24	23.92	ns	22.97	23.19	ns
	灌浆期	47.31	25.77	8.45	3.23***	26.39	27.96	ns	27.59	26.76	ns
	成熟期	58.22	32.43	9.65	3.12***	32.47	34.40	ns	33.70	33.16	ns
2009 早稻	分蘖期	9.12	5.54	0.77	0.73***	4.71	5.57	0.59**	5.62	4.67	0.59**
	拔节期	14.23	8.29	1.92	1.13***	7.42	8.87	0.92**	8.99	7.30	0.92***
	齐穗期	34.48	18.05	3.66	1.64***	17.96	19.50	1.34*	19.63	17.83	1.34*
	灌浆期	43.50	24.33	5.00	2.41***	23.16	25.39	2.01*	26.12	22.43	2.01***
	成熟期	56.79	28.35	5.96	2.63***	30.32	30.41	ns	31.67	29.07	2.15*
2009 晚稻	分蘖期	9.70	5.19	1.41	0.59***	5.60	5.27	ns	5.62	5.25	ns
	拔节期	14.91	7.54	2.43	1.03***	8.21	8.38	ns	8.67	7.92	ns
	齐穗期	38.45	22.55	7.64	2.19***	23.17	22.59	ns	22.50	23.26	ns
	灌浆期	46.92	26.25	9.15	3.52***	27.04	27.85	ns	26.57	28.32	ns
	成熟期	58.85	34.05	10.24	2.19***	34.96	33.80	ns	34.32	34.45	ns
2010 早稻	分蘖期	8.03	5.34	0.74	0.53***	4.69	4.71	ns	5.07	4.33	0.43**
	拔节期	15.20	7.25	2.00	0.69***	8.39	7.91	ns	8.00	8.30	ns
	齐穗期	35.58	17.34	3.66	2.19***	18.03	19.68	ns	18.54	19.18	ns
	灌浆期	48.03	22.57	5.14	3.41***	24.51	25.99	ns	25.34	25.15	ns
	成熟期	59.90	26.32	5.97	1.77***	29.73	31.73	ns	31.34	30.12	ns

表 6 抽穗至成熟期物质生产占产量的百分比 (%)

Table 6 Percentages of dry matter production from heading to maturation on yields

处理	2008 晚稻	2009 早稻	2009 晚稻	2010 早稻
深翻耕	70.90	72.85	75.64	74.13
浅旋耕	70.42	66.99	72.34	70.01
插秧	68.76	67.01	71.84	70.76
抛秧	70.77	71.90	78.36	72.56
直播	72.39	70.90	71.59	72.97
秸秆不还田	70.63	69.19	73.65	69.76
秸秆还田	70.68	70.66	74.31	74.29

2.2 不同处理间水稻实际产量及产量因子构成

种植方式、耕作方式和秸秆还田方式下 4 季水稻的实际产量见表 7。不同种植方式下 4 季水稻的实际产量表现为: 与插秧处理相比, 抛秧和直播处理下 2008

晚稻产量分别增加 2.12%、2.74%, 2009 早稻产量分别增加 2.14%、0.95%, 增产效果均不显著; 2009 晚稻产量抛秧处理显著高于插秧和直播处理, 分别高出 4.1% 和 4.8%; 2010 早稻产量插秧处理比抛秧和直播处理分别低 0.1% 和 2.9%, 差异不显著。不同耕作方式下的 4 季水稻产量均为浅旋耕处理低于深翻耕处理, 分别低了 0.3%、2.1%、0.4% 和 3.6%, 且在第 4 季时产量差异显著。秸秆还田后, 四季水稻产量依季节分别增产了 1.6%、6.7%、7.1% 和 7.6%, 且后 3 季水稻增产效果显著。综合 2 季平均值来看, 晚稻以抛秧、深翻耕和秸秆还田组合产量最高, 早稻以直播、深翻耕和秸秆还田组合产量最高。

分析产量构成(表 8)可知: 不同种植方式下, 4 季水稻的穗数均为直播和抛秧显著高于插秧处理, 增幅为 7.8%~34.1%; 前 3 季水稻的穗粒数为插秧处

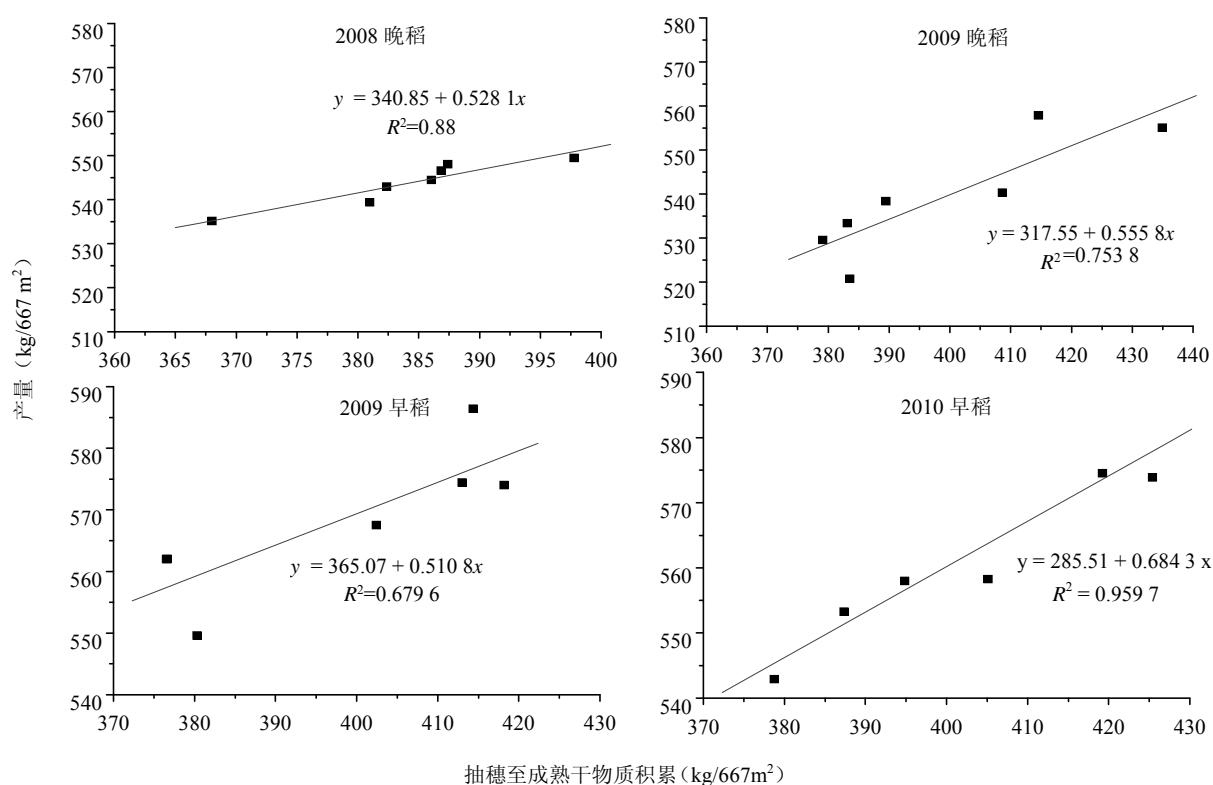


图2 抽穗至成熟期干物质积累与产量的关系

Fig. 2 Relationship between the dry matter accumulation and the yield from heading to ripening

表7 种植方式、耕作方式、秸秆还田方式对早晚稻产量的影响 (t/hm²)

Table 7 Effects of transplanting, tillage and straw using on rice yield during the two rice seasons

生长季	种植方式				耕作			秸秆还田		
	插秧	抛秧	直播	LSD _{0.05}	深翻耕	浅旋耕	LSD _{0.05}	不还田	还田	LSD _{0.05}
2008 晚稻	8.02	8.19	8.24	ns	8.16	8.14	ns	8.09	8.22	ns
2009 晚稻	8.00	8.32	7.94	0.19*	8.10	8.07	ns	7.81	8.36	0.16***
晚稻均值	8.01	8.26	8.09	0.22*	8.13	8.11	ns	7.95	8.29	0.18*
2009 早稻	8.43	8.61	8.51	ns	8.61	8.43	ns	8.24	8.79	0.30**
2010 早稻	8.37	8.37	8.61	ns	8.61	8.29	0.31*	8.14	8.76	0.31***
早稻均值	8.40	8.49	8.56	ns	8.61	8.36	0.23*	8.19	8.78	0.23***

理显著高于直播和抛秧处理，而第4季水稻的穗粒数3种植方式之间差异不大；前3季水稻千粒重均为直播处理显著高于插秧和抛秧处理，第4季水稻千粒重抛秧处理显著高于直播处理；2008晚稻和2010早稻季结实率均为直播显著高于抛秧，2009早稻和2009晚稻季结实率为直播显著低于插秧。不同耕作方式中，浅旋耕降低了早晚稻的有效穗数，但对穗粒数和千粒重无显著影响。秸秆还田显著提高了2010早稻的穗数，也提高了2009早稻至2010早稻间3季水稻的结实率，而对4季水稻其他产量因子无显著影响。

2.3 经济效益

不同轻型栽培模式的具体成本和纯利润见表9。成本上，早晚稻均表现为浅旋耕处理低于深翻耕处理，直播处理低于抛秧处理，抛秧处理低于插秧处理。晚稻成本具体为，与成本最高组合深翻耕插秧处理相比，浅旋耕抛秧和浅旋耕直播组合成本分别减少了90元/667m²（14.5%）和114元/667m²（18.3%）。成本的降低有以下两个原因：一是浅旋耕方式下整田费用低，二是种植方式中抛秧节省了栽种费用，而直播节省了种子、育秧及栽种成本。同样的原因，浅旋耕

表 8 种植方式、耕作方式、秸秆还田方式对早晚稻产量因子的影响

Table 8 Effects of transplanting, tillage and straw using on the yield components during the two rice seasons

生长季	产量构成因子	种植方式				耕作			秸秆还田		
		插秧	抛秧	直播	LSD _{0.05}	深翻耕	浅旋耕	LSD _{0.05}	不还田	还田	LSD _{0.05}
2008 晚稻	穗数 (穗/m ²)	240	280	322	24***	291	270	20*	272	290	ns
	穗粒数 (粒/穗)	138	113	96	11***	113	118	ns	117	115	ns
	千粒重 (g)	28.67	28.65	28.93	0.25*	28.84	28.66	ns	28.84	28.66	ns
	结实率 (%)	81.55	80.59	84.62	3.20*	81.90	82.60	ns	83.01	81.49	ns
	理论产量 (t/hm ²)	14.18	13.66	13.44	ns	14.08	13.44	ns	13.37	14.14	ns
2009 早稻	穗数 (穗/m ²)	423	514	504	44***	502	458	36*	487	473	ns
	穗粒数 (粒/穗)	83	66	71	5***	72	75	ns	74	74	ns
	千粒重 (g)	28.53	28.94	29.65	0.28*	29.12	28.95	ns	29.08	29.00	ns
	结实率 (%)	72.93	71.21	68.60	2.65**	70.50	71.33	ns	70.12	71.71	ns
	理论产量 (t/hm ²)	15.03	14.68	15.92	ns	15.46	14.97	ns	15.50	14.93	ns
2009 晚稻	穗数 (穗/m ²)	285	311	330	21*	316	302	ns	317	301	ns
	穗粒数 (粒/穗)	135	123	120	6**	127	125	ns	125	127	ns
	千粒重 (g)	28.08	27.95	28.78	0.33*	28.25	28.29	ns	28.29	28.25	ns
	结实率 (%)	88.2	88.2	87.1	0.92*	87.8	87.8	ns	87.7	88.0	ns
	理论产量 (t/hm ²)	16.2	15.9	17.1	ns	16.9	15.9	ns	16.8	16.1	ns
2010 早稻	穗数 (穗/m ²)	354	381	384	25*	381	365	ns	361	384	21*
	穗粒数 (粒/穗)	127	122	126	ns	124	126	ns	125	125	ns
	千粒重 (g)	28.79	29.16	28.44	0.43*	28.72	28.88	ns	28.82	28.77	ns
	结实率 (%)	83.10	81.83	84.65	1.77*	83.37	83.01	ns	82.89	83.50	ns
	理论产量 (t/hm ²)	19.39	20.25	20.55	ns	20.31	19.82	ns	19.53	20.60	ns

表 9 不同耕作方式及栽培方式下早晚稻的生产成本和经济效应

Table 9 Input cost and economic benefits of tillage and transplanting during the two rice season

生长季	耕作方式	种植方式	物资费用 (元/667m ²)					人工费用 (元/667m ²)				总成本 (元/667m ²)	单价 (元/kg)	毛收入 (元/667m ²)	纯收入 (元/667m ²)
			种子	育秧	肥料	农药	水费	整田	开沟	种/栽	机收/晾晒				
晚稻	深翻耕	插秧	20	25	215	123	30	50	0	80	80	623	1.9	1017	395
		抛秧	20	25	215	123	30	50	0	10	80	553	1.9	1044	491
		直播	16	0	215	123	25	50	15	5	80	529	1.9	1030	502
	浅旋耕	插秧	20	25	215	123	30	30	0	80	80	603	1.9	1013	410
		抛秧	20	25	215	123	30	30	0	10	80	533	1.9	1049	516
		直播	16	0	215	123	25	30	15	5	80	509	1.9	1020	511
早稻	深翻耕	插秧	23	30	173	84	20	50	0	80	90	550	1.84	1051	501
		抛秧	23	30	173	84	20	50	0	10	90	480	1.84	1050	570
		直播	15.5	0	173	84	15	50	15	5	90	447.5	1.84	1067	619
	浅旋耕	插秧	23	30	173	84	20	30	0	80	90	530	1.84	1010	480
		抛秧	23	30	173	84	20	30	0	10	90	460	1.84	1035	575
		直播	15.5	0	173	84	15	30	15	5	90	427.5	1.84	1034	606

注：晚稻季下各数值为 2008 晚稻和 2009 晚稻季的平均值，早稻季下各数值为 2009 早稻和 2010 早稻季的平均值。

抛秧和浅旋耕直播组合下的早稻成本比深翻耕插秧分别降低了 16.4% 和 22.3%。由上可知,晚稻与早稻采用浅旋耕+直播这种轻型组合方式成本最低。纯收入上,晚稻以浅旋耕抛秧组合最高,浅旋耕直播组合次之,分别比纯收入最低组合深翻耕插秧处理高了 30.8% 和 30%。从表 8 可知,浅旋耕抛秧组合下的晚稻产量最高,比浅旋耕直播的晚稻产量高了 2.8%。高出的这一部分产量收入超过了由深翻耕方式引起的高成本,因而晚稻浅旋耕抛秧组合收益最高。早稻纯收入以深翻耕直播组合最高,浅旋耕直播组合次之,分别比纯收入最低组合浅旋耕插秧处理高了 29% 和 26.3%。以上可知,晚稻采用浅旋耕抛秧组合,早稻采用深翻耕直播组合,获得的经济效益最大。

3 讨论

3.1 不同种植方式对水稻生长发育、产量和经济效应的影响

与插秧、抛秧处理相比,直播处理的生育期早稻缩短了 20 天左右,晚稻缩短了 15 天左右,这是因为直播没有秧田生长期,无返青期,全生育期相应缩短,且主要是缩短了营养生长期,而生殖生长期相差不大;插秧与抛秧处理的生育期相差不大。此外,直播处理分蘖早发快生,分蘖势强,分蘖高峰期时群体苗数多,水稻生长中期的 LAI 高(表 4),但其无效分蘖较多,最终的茎蘖成穗率相对低(表 3)。因此,从总体效果来看,直播稻的这一特点有助于水稻增产。

4 个生长季水稻产量相差不大。但从 3 种植方式本身而言,早稻采用直播,晚稻采用抛秧既省时省力也能获得高产。因为早稻直播播种温度只要日均温达到 10℃ 就不影响播种,而直播水稻的生育期比插秧和抛秧也要短,因而早稻直播可为晚稻种植节省时间。晚稻直播灌浆期可能会遇到寒露风,从而影响到其安全成穗,并最终影响到产量,而采用抛秧方式则可以避免此问题。由产量构成因子分析(表 8)可知,插秧处理能显著增加穗粒数及结实率,而直播处理能显著增加穗数,而抛秧处理的穗数、穗粒数和结实率介于直播和插秧处理之间。产量与其抽穗后的干物质积累显著相关^[14],抽穗至成熟期时干重积累越多,其籽粒产量也高(表 6)。相关分析也证实了这一结论(图 2)。

3.2 不同耕作方式对水稻生长及产量的影响

与深翻耕处理相比,浅旋耕处理提高了 4 季水稻

分蘖前中期的单株分蘖数及灌浆期之前的单株干重(表 5),然而水稻后期生长并无明显优势。这可能是由于浅旋耕处理下耕层较浅,下层土壤相对紧实,根系下扎受限,而在表层相对密集^[15],从而更多地吸收了土壤表层养分,因此表现为浅旋耕处理下水稻分蘖早发快生,生长前中期积累的干物质也多。但根系分布浅也导致了其不能获取深层土壤中的养分和水分^[16],从而影响水稻后期生长。后两季水稻齐穗后的 LAI 下降明显也说明了这点(表 4)。

与深翻耕处理相比,浅旋耕处理其产量因子中,分蘖期分蘖数较高,其成穗率低(表 3),穗数减少(表 8)。从 4 季水稻的产量来看,水稻产量均是浅旋耕处理低于深翻耕处理,且第 4 季差异显著。说明在连作条件下,浅旋耕处理不利于水稻产量的提高。采用这种轻型耕作方式还需与其他轻型化方式综合考虑才行。

3.3 不同秸秆还田方式对水稻生长及产量的影响

秸秆还田后,4 季水稻前期生长受阻,表现为前期单株水稻分蘖减少,水稻单株重降低,分蘖期 LAI 指数低。这是因为秸秆的 C/N 较高,它很难直接被作物吸收利用,需经腐解后才能释放养分,而秸秆在腐解过程中氮素被固持一部分,因此土壤的氮供应量有所减少,进而影响水稻前期的生长发育^[17]。研究还发现,晚稻生长受秸秆还田的影响小,早稻生长受秸秆还田影响显著。这可能是因为早、晚稻收割后立即将秸秆还田,晚稻移栽时距秸秆还田的时间很短,秸秆未完全分解,而早稻移栽前,秸秆已在稻田有半年的分解时间,因此早稻受秸秆还田的影响更大。

秸秆还田处理能提高水稻的产量,且后 3 季水稻产量差异显著(表 7)。因为水稻灌浆后期明显存在着源不足的问题^[18],源库不协调,但随着秸秆分解由吸氮转为释氮,土壤供肥能力提高,秸秆还田处理在水稻生长后期有“养根保叶”的作用^[19],从而使源库关系得到协调,提高产量。

3.4 结论

晚稻以深翻耕、抛秧和秸秆还田组合产量最高,而早稻以深翻耕、直播和秸秆还田组合最高。经济效益综合分析表明:晚稻采用深翻耕直播,早稻采用浅旋耕直播,同时均采用秸秆还田方式,能获得最大的经济效益。说明轻型化方式需结合耕作方式、种植方式、秸秆还田 3 个方面综合考虑,采用合适的组合,才能使效益最大化,达到增产增效的目的。

综上所述,轻型化方式在赣东北地区是可行的,

特别是早稻直播和晚稻抛秧在产量与经济效益方面均较传统插秧栽培方式有较大优势,且技术模式相对成熟,值得大力推广。

参考文献:

- [1] 凌启鸿. 论水稻生产在我国南方经济发达地区可持续发展中的不可替代作用. 中国稻米, 2004(1): 5-8
- [2] 陈健. 水稻栽培方式的演变与发展研究. 沈阳农业大学学报, 2003, 34(5): 389-393
- [3] Yadav S, Gilla MS, Kukal SS. Performance of direct-seeded basmati rice in loamy sand in semi-arid sub-tropical India. Soil & Tillage Research, 2007, 97: 229-238
- [4] Xu GW, Tan GI, Wang Zq, Liu Lj, Yang JC. Effects of wheat residue application and site-specific nitrogen management on growth and development in direct-seeding rice. Acta Agronomica Sinica, 2009, 35(4): 685-694
- [5] 张洪熙, 赵步洪, 杜永林, 谭长乐, 戴正元, 季红娟, 王宝和, 周长海. 小麦秸秆还田条件下轻简栽培水稻的生长特性. 中国水稻科学, 2008, 22(6): 603-609
- [6] 杜永林, 杨洪建. 江苏作物免少耕栽培技术发展探讨. 耕作与栽培, 2008(1): 1-3
- [7] 王洋, 张祖立, 张亚双, 崔红光. 国内外水稻直播种植发展概况. 农机化研究, 2007(1): 48-50
- [8] 张洪程, 戴其根, 霍中洋, 许轲, 魏海燕. 中国抛秧稻作技术体系及其特征. 中国农业科学, 2008, 41(1): 43-52
- [9] 谭长乐, 张洪熙, 赵步洪, 戴正元, 周长海, 王宝和, 黄年生. 全量麦草旋耕还田轻简稻作技术规范. 江苏农业科学, 2006(5): 12-13
- [10] 丁涛, 秦玉金. 水稻不同栽培方式对产量效益及生育特性的影响. 安徽农业科学, 2006, 34(14): 3 337-3 338
- [11] San-oh Y, Mano Y, Ookawa T, Hirasawa T. Comparison of dry matter production and associated characteristics between direct-sown and transplanted rice plants in a submerged paddy field and relationships to planting patterns. Field Crops Research, 2004, 87: 43-58
- [12] 刘世平, 聂新涛, 张洪程, 戴其根, 霍中洋, 许轲. 稻麦两熟条件下不同土壤耕作方式与秸秆还田效用分析. 农业工程学报, 2006, 22(7): 48-51
- [13] 杨从党, 周能, 袁平荣. 水稻结实率和若干生理因素的品种间差异及其相关研究. 中国水稻科学, 1998, 12(3): 144-148
- [14] 苏祖芳, 张娟, 王辉斌, 杜永林, 张亚洁. 水稻成穗率与群体质量的关系及其影响因素的研究. 江苏农学院学报, 1997, 18(1): 36-40
- [15] 代贵金, 岩石真嗣, 三木孝昭, 华泽田, 王彦荣. 不同耕作与施肥方法对水稻根系生长分布和活性的影响. 沈阳农业大学学报, 2008, 39(3): 274-278.
- [16] 徐天养, 赵正雄. 耕作深度对烤烟生长、养分吸收及产量、质量的影响. 作物学报. 2009, 35(7): 1 364-1 368
- [17] 李录久, 杨哲峰, 李文高, 徐志斌, 胡永年, 苗春苗, 肖凤体. 秸秆直接还田对当季作物产量效应. 安徽农业科学, 2000, 28(4): 450-457
- [18] 段俊, 梁承邨, 黄毓文. 杂交水稻灌浆期间籽粒充实生理研究. 植物生理学通讯, 1995, 31(2): 91-95
- [19] 徐国伟, 谈桂露, 王志琴, 刘立军, 杨建昌. 麦秸还田与实地氮肥管理对直播水稻生长的影响. 作物学报, 2009, 35(4): 685-694

Effects of Different Light Cultivation on Rice Growth, Yields and Economic Benefits in Northeast Area of Jiangxi Province

LIU Jin-hua^{1,4}, QIN Jiang-tao¹, ZHANG Bin^{1,2}, XIA Gui-long³, LU Jin-gui³, GAN San-ya³, YU Rui-xin³

(1 *Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China*; 2 *Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China*; 3 *Plantation of Dengjia Town of Jiangxi Province, Yujiang, Jiangxi 335200, China*; 4 *Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China*)

Abstract: Rice cultivation technology has been developed rapidly in recent years, but its comparison with traditional artificial transplantation is still scarce, which leads to an argument whether the light cultural technique can produce high yields. This study was carried out to evaluate the effects of three planting patterns (direct seeding (DS), throwing seeding (TS) and transplantation (TP)) and mechanized deep tillage and shallow tillage with straw returning on the performance of two year early and late rice growth, yields and economic benefits at Yujiang in the northeast of Jiangxi province. The results showed that, compared with TP, DS shortened the rice growth period; both DS and TS reduced the tiller numbers per hill, the aboveground total biomass per hill, the percentage of productive tillers and the grain number per spike, but enhanced leaf area index (LAI) and panicle per unit area. Except TS increased the late rice yields in 2009 year significantly, compared with DS and TP, the yields of the other three seasons were not significantly different in the three cultivation methods. Compared with the traditional deep tillage, the shallow tillage significantly increased the tiller numbers per hill and the aboveground total biomass per hill during the growth stage, but it decreased LAI at the late growth and the percentage of productive tillers which therefore caused the lower production. Compared with straw output, rice straw mechanical returning increase the spike rate and the accumulation of dry matter, thus improved rice yields in the four seasons, and the rice yield significantly increased along with the time. According to comprehensive analysis, the highest yield of the early rice was from the treatment with deep tillage, direct seeding and straw retuning, and that of the late rice from the treatment with deep tillage, throwing seeding and straw retuning simultaneously. While form the economic efficiency point of view, compared with the combination patterns of deep tillage and transplantation, the costs of the combination patterns of shallow tillage and throwing seeding and the patterns of shallow tillage and direct seeding decreased by 16.4% and 22.3% respectively in early rice season and decreased by 14.5% and 18.3% respectively in late rice season.

Key words: Rice, Light cultivation, Growth, Yields, Economic benefits