

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2016.04.001

冬水田机械化栽插密度的田间试验研究^①

熊昌国¹, 应 婧¹, 易文裕¹,
余满江¹, 程方平¹, 谢祖琪²

1. 四川省农业机械研究设计院, 成都 610066; 2. 农业部丘陵山地农业装备技术重点实验室, 成都 610066

摘要: 试验采用原创研发的机插秧栽插密度田间测试装置和 4 行步进插秧机组成的试验系统装置, 在泥脚深度 23~30 cm, 水层深度 3~11 cm 的冬水田里进行了田间机械化无载荷载插试验、模拟满载荷载插试验和实际插秧正交试验, 研究了冬水田机插秧的秧苗株距和标定秧爪株距的关系, 种植密度和理论密度的关系. 研究表明: 冬水田的泥脚深度、水层深度、秧苗株距对田间栽插密度的影响特别显著, 插秧机的驱动轮、水稻的品种对田间栽插密度看不出影响. 在泥脚深度 23~30 cm 的冬水田, 当水层深度大于 7 cm 时, 机插秧栽插密度随机性较大, 种植密度差异高达 35.1%, 不能保证种植密度和水稻产量.

关键词: 冬水田; 测试装置; 机插秧; 株距; 密度; 水层深度; 泥脚深度

中图分类号: S223.91

文献标志码: A

文章编号: 1673-9868(2016)04-0001-09

冬水田水稻的稳产增产直接关系到丘陵山地的粮食自给率与平衡国家粮食自给率和商品粮供应率, 而冬水田水稻机械化生产是实现丘陵山地粮食稳产增产的重要措施. 冬水田水稻机械化生产应从种植环节控制秧苗栽插密度入手, 秧苗密度精确定量是水稻精确定量栽培四大关键技术之一. 现在机插秧苗密度精确定量主要是在固定行距 30 cm 前提下针对株距精确定量^[1], 但在机插秧时, 一是由于每行作业调头换行时的实际行距多为 35~38 cm, 大于固定行距 30 cm; 二是形状不规则田角田边有差异; 三是冬水田秧苗株距与泥脚深度相关, 秧苗株距与标定秧爪株距差异较大, 导致冬水田机插秧实际栽插密度与机器标定的理论密度关系存在不确定性, 难以保证冬水田机械化田间栽插密度达到农艺种植密度的要求, 目前有关冬水田水稻栽插密度田间测试的研究还未见报道.

关于普通水田水稻机械化栽插对水稻产量影响最大的因素为株距即密度、秧龄和播种量^[2]; 插秧机秧爪结构对“漂秧率”、“漏秧率”、“伤秧率”的影响特别显著^[3]; 现有插秧机的栽插密度对水稻田块的表土状态和水层深度都有一定的要求^[4], 一般适宜于泥脚深度不大于 20 cm, 水层深度 1~3 cm 为宜的田块. 所以普通水田插秧机的田间栽插密度多以插秧机出厂时的固定行距 30 cm 和标定秧爪株距为依据, 再考虑一定比例的滑转率大致推算得到, 但这种方法不适用于冬水田.

一种适宜深泥脚田的 2 行 SNJ 插秧机可在泥脚深度 30 cm、水层深度 2~3 cm 的深泥脚田插秧^[5]. 而使用 4 行步进式插秧机在冬水田进行机插秧并在田间测试秧苗栽插密度的研究更未见报道.

本试验研究根据徐富贤等提出的观点: 四川东南部冬水田杂交中稻生产的密度以 15.16 万穴/hm² (10 100 穴/667 m²) 的等行距栽培的产量较高, 冬水田区最好采取传统的等行距栽培为佳^[6]. 徐富贤等在川东南冬水田杂交中稻进一步高产的栽培策略中提出 10.76 万穴/hm² (7 173 穴/667 m²) 的产量较高^[7]

① 收稿日期: 2015-09-22

基金项目: 农业部公益性行业(农业)科研专项(201303012).

作者简介: 熊昌国(1963-), 男, 重庆人, 研究员, 主要从事农业机械、生物质能源和农产品加工等方面的科研开发和技术推广工作.

的农艺种植密度要求,进行了田间机械化无载荷栽插试验、模拟满载荷栽插试验和实际插秧正交试验,并在田间测试了冬水田水稻秧苗株距和栽插密度,为丘陵山地冬水田水稻的稳产增产提供了技术支撑。

1 试验材料

1.1 试验时间和地点

机插秧无载荷田间栽插秧苗株距试验于 2015 年 3 月 19 日在冬水田 1、冬水田 2 和冬水田 3 进行;机插秧模拟满载荷田间栽插秧苗株距和密度试验于 2015 年 4 月 1 日在冬水田 1 和冬水田 2 进行;机插秧实际插秧株距和密度试验于 2015 年 4 月 15 日在冬水田 1 和冬水田 2 进行。

试验地点在四川省泸州市泸县云龙镇大水河村。试验田块为 3 个冬水田。冬水田 1 泥脚深度 28~30 cm,水层深度 8~11 cm,长 58.2 m 和宽 31.4 m,面积 1 827 m²。冬水田 2 泥脚深度 23~26 cm,水层深度 3~7 cm,长 60 m 和宽 30 m,面积 1 800 m²。冬水田 3 泥脚深度 24 cm,水层深度 4 cm,长 50 m 和宽 30 m,面积 1 500 m²。3 个冬水田分布如图 1 所示。



图 1 冬水田分布图

1.2 试验系统装置

本试验系统装置由原创研发的机插秧田间栽插密度测试装置(以下简称测试装置)和 4 行步进式插秧机组成。测试装置由中央处理器、秧爪动作次数传感器、田间位置采集摄像头、无线路由器或 GPRS、手机终端等 5 部分组成。测试装置各部件安装位置:摄像头固定于冬水田田坎边上、传感器安装于插秧机秧爪上、中央处理器和无线路由器放置于插秧机预备架上;测试装置通过无线路由器或通用分组无线服务(GPRS)与电脑或智能手机终端无线远程通讯,实现试验系统装置本地和远程操控。本测试装置适用于 2 行、4 行和 6 行步进式或乘坐式插秧机,试验系统装置如图 2 所示。



图 2 试验系统装置

本试验系统装置工作原理: 摄像头用于连续采集插秧机位置图像数据, 传感器用于采集秧爪插秧次数, 中央处理器将采集到的传感器数据进行数据处理, 对位置图像数据进行图像处理计算出插秧机位置坐标点, 再根据位置坐标点得出插秧机行走距离(L)及作业面积(S), 并根据公式(1)和(2)直接输出田间测试密度和田间栽插秧苗株距。

田间测试密度(穴/ m^2)

$$M = \frac{N \times H}{S} \quad (1)$$

其中: N 为秧爪插秧次数, 单位: 穴; H 为插秧机行数; S 为作业面积, 单位: m^2 。

田间栽插秧苗株距(cm/穴)

$$Z = \frac{L}{N} \quad (2)$$

其中: L 为行走距离, 单位: cm。

1.3 试验参数定义与测试

1.3.1 标定秧爪株距和固定行距

标定秧爪株距是指插秧机出厂时根据驱动轮和传动比结构带动秧爪两次动作之间的秧爪理论间距, 通常有 16, 18, 21, 24, 28 cm 等。本插秧机固定行距为 30 cm。

1.3.2 理论密度

理论密度指单位面积内以标定秧爪株距和固定行距为标准的秧爪动作总次数, 根据单位面积除以 4 倍固定行距和标定秧爪株距的乘积通过计算得出的密度。

1.3.3 秧苗株距

秧苗株距是插秧机田间插秧作业时秧爪两次动作之间的秧苗实际间距, 是测定装置根据插秧机行走距离除以单行秧爪动作总次数通过测试得出的平均株距。

1.3.4 秧苗密度

秧苗密度是指插秧机单轮作业面积内以秧苗株距和固定行距为标准的秧爪动作总次数, 根据单轮作业面积除以 4 倍固定行距和秧苗株距的乘积通过计算得出的密度。

1.3.5 测试密度

测试密度是指总作业面积内秧爪动作总次数, 是测定装置根据总作业面积除以秧爪动作总次数通过测试得出的密度。

1.3.6 种植密度

种植密度是指单位面积内栽插秧苗的数量, 即农艺上的栽秧密度。采用 GPS 测量仪测出总作业面积, 再人工统计总作业面积内的实际秧苗数量, 通过计算得出的密度。

2 机插秧无载荷秧苗株距试验

2.1 无载荷秧苗株距试验

本试验采用插秧机空载状态下的图 2 装置, 选用 21 cm 和 28 cm 两个标定秧爪株距, 每个田块每个株距的试验次数不少于 2 次, 每次试验的测试数据不少于 100 个, 秧苗株距测试见表 1。

2.2 试验结果

1) 无载荷秧苗株距小于标定秧爪株距, 这是由于插秧机行走时驱动轮打滑, 导致秧苗株距减小。

2) 在泥脚深度 23~30 cm、水层深度 3~11 cm 的 3 种冬水田里, 无载荷秧苗株距与标定秧爪株距比值在 90.5%~98.24% 的范围内。

3) 无载荷秧苗株距与标定秧爪株距的差距与泥脚深度成正比, 泥脚越深, 差距越大。由于冬水田 2 无载荷秧苗株距与标定秧爪株距比值在 94.86%~98.24% 范围内, 冬水田 3 无载荷秧苗株距与标定秧爪株距比值 93.07%~96.33% 范围内, 两者较接近, 故后续试验不在冬水田 3 进行。

表 1 无载荷秧苗株距测试

冬水田编号	行走距离/ m	秧爪动作次数/ 次	秧苗株距/ cm	标定秧爪株距/ cm	秧苗株距与标定秧 爪株距比值/%
冬水田 1	19.90	102	19.51	21	92.90
	19.67	100	19.67	21	93.67
	平均		19.59	21	93.29
	28.63	113	25.34	28	90.50
	27.88	109	25.58	28	91.36
	平均		25.46	28	90.93
冬水田 2	27.64	134	20.63	21	98.24
	27.00	135	20.00	21	95.24
	平均		20.32	21	96.76
	28.95	109	26.56	28	94.86
	27.65	104	26.59	28	94.96
	平均		26.58	28	94.93
冬水田 3	26.70	132	20.23	21	96.33
	26.20	133	19.70	21	93.81
	平均		20.01	21	95.29
	27.36	105	26.06	28	93.07
	27.12	103	26.33	28	94.04
	平均		26.20	28	93.57

3 机插秧模拟满载荷秧苗株距和密度试验

3.1 模拟载荷质量、载荷加载方式及载荷摆放位置的确定

试验系统装置模拟插秧机实际插秧作业中满载为 10 个秧盘, 每个秧盘长 58 cm, 宽 38 cm, 每盘质量小于 6 kg, 取模拟满载荷总质量约 60 kg. 采用自制的直径 $\varphi 130$ cm, 高 95 cm, 质量 10 kg 砝码 5 块, 直径 $\varphi 98$ cm, 高 84.5 cm, 质量 5 kg 砝码 6 块作为加载配质量. 机插秧满载作业时在载秧台和预备架分别放置 6 个整盘和 4 个整盘的秧盘载荷, 选用 10 kg 砝码 4 件、5 kg 砝码 3 件和测试装置 4 kg 的载荷分别在载秧台下部和预备架上部分别放置 35 kg 和 24 kg 载荷, 砝码之间加隔防护膜并用软绳捆扎固定. 模拟满载加载配质量如图 3 所示.



图 3 模拟满载加载配重图

3.2 模拟满载荷试验

本试验采用图 3 装置, 选用 21 cm 和 28 cm 两个标定秧爪株距, 每次试验的密度测试面积不小于 260 m²; 每个田块每个株距的试验次数不少于 2 次, 每次试验的秧苗株距测试数据不少于 100 个, 密度测试结果如表 2, 秧苗株距测试结果如表 3.

表 2 模拟满载荷密度测试表

冬水田编号	标定秧爪 株距/cm	秧苗株 距/cm	理论密度/ (穴·hm ⁻²)	秧苗密度/ (穴·hm ⁻²)	测试密度/ (穴·hm ⁻²)	测试密度高于 理论密度/%	测试密度低于 秧苗密度/%
冬水田 1	21	17.80	158 805	187 365	174 240	9.7	7.0
冬水田 2	21	18.34	158 805	181 845	170 940	7.6	6.0
冬水田 1	28	24.32	119 100	137 130	128 895	8.2	6.0
冬水田 2	28	25.12	119 100	132 765	126 120	5.9	5.0

表 3 模拟满载荷秧苗株距测试

冬水田编号	行走距离/ m	秧爪动作 次数/次	秧苗株距/ cm	标定秧爪 株距/cm	模拟满载秧苗株距与 标定秧爪株距比值/%	模拟满载秧苗株距与 无载荷秧苗株距比值/%
冬水田 1	19.15	108	17.73	21	84.43	90.88
	19.48	109	17.87	21	85.10	90.85
	平均		17.80	21	84.76	90.86
	26.87	110	24.43	28	87.25	96.41
	26.38	109	24.20	28	86.43	94.61
	平均		24.32	28	86.86	95.52
冬水田 2	25.90	143	18.11	21	86.24	87.78
	25.26	136	18.57	21	88.43	92.85
	平均		18.34	21	87.33	90.26
	26.90	106	25.38	28	90.64	95.56
	26.60	107	24.86	28	88.79	93.49
	平均		25.12	28	89.71	94.51

3.3 试验结果

1) 模拟满载荷秧苗株距与泥脚深度成反比, 泥脚越深秧苗株距越小; 而密度与泥脚深度成正比, 泥脚越深密度越大。

2) 模拟满载荷秧苗株距、测试密度与水层深度关系不大。

3) 插秧机模拟满载荷的滑转率高于无载荷的滑转率。

4) 模拟满载荷秧苗株距低于无载荷秧苗株距, 模拟满载荷秧苗株距与无载荷秧苗株距的比值在 87.78%~96.41%。

5) 模拟满载荷秧苗株距低于标定秧爪株距, 模拟满载荷秧苗株距与标定秧爪株距的比值在 84.43%~90.64%。

6) 模拟满载荷测试密度高于理论密度 5.9%~9.7%, 这是由于秧苗株距小于标定秧爪株距所致。测试密度低于秧苗密度 5.0%~7.0%, 一是由于每行作业调头换行时的实际行距大于固定行距 30 cm, 一般为 35~38 cm, 导致密度降低 3%~6%; 二是不规则形状田角田边有 1%左右的浪费。

4 插秧机实际插秧株距和密度正交试验

4.1 试验参数选择

4.1.1 3 个品种及育秧

根据农艺要求, 选取了 3 个品种, 分别为宜香优 2115, 千粒质量 32.8 g; 旌优 127, 千粒质量 28.3 g; 内香 8514, 千粒质量 29.5 g。2015 年 3 月 11 日在秧母田播种育秧, 播种量 71.4 g/盘, 4 月 15 日插秧, 秧龄 35 天, 苗高 26~28 cm。秧母田育秧如图 4 所示。



图 4 秧母田育秧

4.1.2 两类冬水田

选取有代表性的不同泥脚深度和水层深度的冬水田,冬水田 1 泥脚深度 28~30 cm,水层深度为 8~11 cm;冬水田 2 泥脚深度 23~26 cm,水层深度 3~7 cm.

4.1.3 2 种标定秧爪株距

根据现有插秧机的标定秧爪株距档位,结合农艺水稻品种和插秧密度的要求,参考插秧机模拟满载田间栽插秧苗株距和测试密度对应数据,选择标定秧爪株距 21 cm 和 28 cm.

4.1.4 2 种驱动轮

2 种驱动轮结构:轮 1 外径 660 mm,叶片数量 9 片,叶片宽度 90 mm 和长度 85 mm,叶片沿轮 1 周边均匀分布.轮 2 外径 660 mm,叶片数量 12 片,其中 9 个叶片宽度 90 mm 和长度 85 mm,3 个叶片宽度 100 mm 和长度 120 mm,12 个叶片沿轮 2 周边均匀间隔分布.

4.2 正交试验方案

4.2.1 $L_{12}(3 \times 2^4)$ 正交试验设计

本试验设计选用三因素两水平和一因素三水平的混合型正交试验 $L_{12}(3 \times 2^4)$ 进行机插秧,三因素两水平分别为标定秧爪株距、冬水田和驱动轮、一因素三水平为水稻品种,其因素水平如表 4,试验方案如表 5,田间插秧正交试验如图 5 所示.



图 5 田间插秧正交试验

表 4 因数水平表

水平	A 品种	B 标定秧爪株距/cm	C 冬水田	D 驱动轮
1	宜香优 2115	21	冬水田 2	轮 1
2	旌优 127	28	冬水田 1	轮 2
3	内香 8514			

表5 试验方案

试验号	编号	A	B	C	D
		品种	标定秧爪株距/cm	冬水田编号	驱动轮
L ₁	A ₁ B ₁ C ₁ D ₁	宜香优 2115	21	冬水田 2	轮 1
L ₂	A ₁ B ₁ C ₁ D ₂	宜香优 2115	21	冬水田 1	轮 1
L ₃	A ₁ B ₂ C ₂ D ₁	宜香优 2115	28	冬水田 2	轮 2
L ₄	A ₁ B ₂ C ₂ D ₂	宜香优 2115	28	冬水田 1	轮 2
L ₅	A ₂ B ₁ C ₂ D ₁	旌优 127	28	冬水田 2	轮 1
L ₆	A ₂ B ₁ C ₂ D ₂	旌优 127	28	冬水田 1	轮 1
L ₇	A ₂ B ₂ C ₁ D ₁	旌优 127	21	冬水田 2	轮 2
L ₈	A ₂ B ₂ C ₁ D ₂	旌优 127	21	冬水田 1	轮 2
L ₉	A ₃ B ₁ C ₂ D ₁	内香 8514	28	冬水田 2	轮 1
L ₁₀	A ₃ B ₁ C ₁ D ₂	内香 8514	21	冬水田 1	轮 1
L ₁₁	A ₃ B ₂ C ₁ D ₁	内香 8514	21	冬水田 2	轮 2
L ₁₂	A ₃ B ₂ C ₂ D ₂	内香 8514	28	冬水田 1	轮 2

4.2.2 实际插秧秧苗株距试验

本试验的每个田块每个株距的试验次数不少于2次,每次秧苗株距测试数据不少于200个,实际插秧秧苗株距测试如表6.

表6 实际插秧秧苗株距测试

冬水田	行走 距离/m	秧爪动作 次数/次	秧苗株 距/cm	标定秧爪 株距/cm	秧苗株距与标定秧 爪株距比值/%	实际插秧秧苗株距与 模拟满载秧苗株距比值/%	实际插秧秧苗株距与 无载荷秧苗株距比值/%
冬水田 1	53.2	283	18.80	21	89.52	106.03	96.36
	53.35	288	18.52	21	88.19	103.64	94.15
	平均		18.66	21	88.86	104.83	95.25
	52.5	213	24.65	28	88.04	100.90	97.28
	58.7	231	25.14	28	89.79	103.88	98.28
	平均		24.90	28	88.93	102.38	97.80
冬水田 2	80.8	418	19.33	21	92.05	106.74	93.70
	80.9	406	19.93	21	94.90	107.32	99.65
	平均		19.63	21	93.48	107.03	96.60
	82.7	322	25.68	28	91.71	101.18	96.69
	81.9	324	25.28	28	90.29	101.69	95.07
	平均		25.48	28	91.00	101.43	95.86

4.2.3 实际插秧秧苗株距试验结果

1) 实际插秧秧苗株距介于无载荷秧苗株距和模拟满载荷秧苗株距之间,实际插秧秧苗株距小于无载荷秧苗株距,大于模拟满载荷秧苗株距.即实际插秧滑转率低于模拟满载荷滑转率,高于无载荷滑转率.

2) 在泥脚深度28~30 cm的冬水田1,秧苗株距与标定秧爪株距比值为88.04%~89.79%;标定秧爪株距21 cm,测试秧苗株距为18.66 cm,标定秧爪株距28 cm,测试秧苗株距为24.9 cm.

3) 在泥脚深度23~26 cm的冬水田2,秧苗株距与标定秧爪株距比值为90.29%~94.9%;标定秧爪株距21 cm,测试秧苗株距为19.63 cm,标定秧爪株距28 cm,测试秧苗株距为25.48 cm.

4.2.4 实际插秧密度试验

本试验的每次密度测试面积不小于260 m²,实际插秧密度正交试验分析见表5,实际插秧密度正交试验方差分析如表7.

4.2.5 实际插秧密度试验结果

1) 测试密度高于理论密度1.2%~7%,低于秧苗密度的4%~7%,与模拟满载田间栽插秧苗株距和密度试验的规律和趋势一致.

2) 测试密度不高于种植密度的8%为合格.根据国家标准《水稻插秧机技术条件》(GB/T20864-2007)规

定的漂秧率和漏插率应分别小于或等于 3% 和 5%，即两项之和应小于或等于 8%。如果测试密度高于种植密度的比值小于或等于 8%，一是说明插秧机的漂秧率和漏插率符合要求，二是水田泥脚深度和水层深度的条件适宜机插秧，即为合格，否则不合格。

3) 在水层深度 8~11 cm、泥脚深度 28~30 cm 的冬水田 1，测试密度高于种植密度的比值在 10.1%~35.1%，远远高于 8%，表明当水层深度大于 7 cm 时机插秧栽插密度随机性较大，难以保证种植密度，主要原因是水层较深容易漂秧和倒秧。在水层深度 3~7 cm、泥脚深度 23~26 cm 的冬水田 2，测试密度高于种植密度的比值在 0.8%~7.5%，完全保证种植密度达到农艺要求。

表 7 实际插秧密度正交试验分析表

试验号	理论密度/ (穴·hm ⁻²)	秧苗密度/ (穴·hm ⁻²)	测试密度/ (穴·hm ⁻²)	种植密度/ (穴·hm ⁻²)	测试密度高于 理论密度/%	测试密度低于 秧苗密度/%	测试密度高于 种植密度/%
L ₁	158 805	174 330	164 385	152 880	3.5	5.7	7.5
L ₂	158 805	177 390	165 330	124 575	4.1	6.8	32.7
L ₃	119 100	127 290	122 205	120 240	2.6	4.0	1.6
L ₄	119 100	135 300	127 455	113 955	7.0	5.8	11.8
L ₅	119 100	129 870	123 765	122 775	3.9	4.7	0.8
L ₆	119 100	131 145	124 575	116 310	4.5	5.0	7.1
L ₇	158 805	167 340	160 635	152 130	1.2	4.0	5.6
L ₈	158 805	180 075	167 475	123 960	5.5	7.0	35.1
L ₉	119 100	131 925	125 325	119 115	5.2	5.0	5.2
L ₁₀	158 805	175 065	163 020	130 125	2.7	6.9	25.3
L ₁₁	158 805	172 530	163 035	152 820	2.7	5.5	6.7
L ₁₂	119 100	132 660	126 030	114 465	5.8	5.0	10.1

4.2.6 正交试验的影响显著性分析

实际插秧密度正交试验方差分析如表 8。

表 8 实际插秧密度正交试验方差分析表

方差来源	平方和	自由度	均方	F	临界值
A	4.87	2.00	2.44	0.13	$F_{0.01}=9.6, F_{0.1}=3.3, F_{0.05}=4.7$
B	267.34	1.00	267.34	13.8**	$F_{0.01}=12.3, F_{0.1}=3.6, F_{0.05}=5.6$
C	409.97	1.00	409.97	21.26**	$F_{0.01}=12.3, F_{0.1}=3.6, F_{0.05}=5.6$
D	1.43	1.00	1.43	0.07	$F_{0.01}=12.3, F_{0.1}=3.6, F_{0.05}=5.6$
误差	135.00	7.00	19.29		
总和	818.61	12.00			

注：1. $F > F_{0.01}$ ，影响特别显著，记为“**”；2. $F_{0.01} \geq F > F_{0.05}$ ，影响显著，记为“*”；3. $F_{0.05} \geq F > F_{0.1}$ ，有一定影响，记为“*”；4. $F_{0.1} \geq F$ ，看不出影响。

从表 6 实际插秧密度方差分析表可以得出：

1) 田块的 $F_C = 21.26$ ，因为 $F_C > F_{0.01}$ ，所以 C 因子田块对种植密度的影响特别显著，即冬水田的泥脚深度和水层深度对种植密度的影响特别显著。

2) 株距的 $F_B = 13.86$ ，因为 $F_B > F_{0.01}$ ，所以 B 因子株距对种植密度的影响特别显著。

3) 驱动轮的 $F_D = 0.07$ ，因为 $F_{0.1} \geq F_D$ ，所以 D 因子驱动轮对种植密度看不出影响。

4) 品种的 $F_A = 0.13$ ，因为 $F_{0.1} \geq F_A$ ，所以 A 因子品种对种植密度看不出影响。

5 结 论

1) 冬水田的泥脚深度和水层深度、秧苗株距对田间栽插密度的影响特别显著；插秧机的驱动轮、水稻的品种对田间栽插密度看不出影响。

2) 冬水田实际插秧秧苗株距与泥脚深度成反比，泥脚越深秧苗株距越小；而密度与泥脚深度成正比，泥脚越深密度越大。

3) 冬水田机插秧的株距大小依次为：标定秧爪株距、无载秧苗株距、实际插秧秧苗株距、模拟满载

荷秧苗株距。

4) 在水层深度 8~11 cm、泥脚深度 28~30 cm 的冬水田,机插秧栽插密度随机性较大,种植密度降低高达 35.1%,难以保证种植密度和水稻产量。

5) 在泥脚深度 23~26 cm、水层深度 3~7 cm 的冬水田,实际插秧测试密度高于种植密度 0.8%~7.5%,能够实现农艺种植密度,保证水稻产量。

6) 根据农艺要求密度初步选择插秧机对应的标定秧爪株距,通过田间试插秧可得到测试密度。如果测试密度高于农艺要求密度在 8%以内为合格,如果测试密度高于农艺要求密度的 10%以上,应调大株距适当降低密度,如果测试密度小于等于农艺密度,应调小株距适当增加密度。

参考文献:

- [1] 叶丹杰,陈少婷,胡学应,等.水稻精确定量栽培关键技术研究[J].广东农业科学,2010(4):24-25.
- [2] 谢祖琪,熊昌国,姚金霞,等.水稻机械化栽插对水稻产量的影响[J].西南大学学报(自然科学版),2013,35(2):128-135.
- [3] 庾洪章,谢祖琪,应婧,等.插秧机秧爪结构对秧苗栽插质量的影响[J].西南农业学报,2012,25(1):63-68.
- [4] 朱亚东.水稻生产全程机械化关键环节的配套装备研究[J].中国农机化,2007(5):27-29.
- [5] 易文裕,应婧,庾洪章,等.适宜深泥脚田的2行插秧机试验研究[J].农机化研究,2014,36(12):200-203.
- [6] 徐富贤,范青华,陈应平,等.冬水田杂交中稻栽秧密度与方式互作对头季稻及再生稻生长的影响[J].西南农业学报,2010,23(3):629-635.
- [7] 徐富贤,熊洪,朱永川,等.川东南冬水田杂交中稻进一步高产的栽培策略[J].作物学报,2007,33(6):1004-1009.

An Experimental Study on Planting Density of Mechanized Transplanting in Winter Water-Logged Paddy Fields

XIONG Chang-guo¹, YING Jing¹, Yi Wen-yu¹,
YU Man-jiang¹, CHENG Fang-ping¹, XIE Zu-qi²

1. Sichuan Research & Design Institute of Agricultural Machinery, Sichuan 610066, China;
2. Key Laboratory of Agricultural Equipment Technology for Hilly and Mountainous Areas Ministry of Agriculture, Sichuan 610066, China

Abstract: In a study reported in this paper, a test system consisting of an originally developed “test equipment of planting density of mechanized transplanting” and a four-row-walking rice transplanter was used to investigate the relationship between planting spacing of seedlings and calibration planting spacing of seedling claws and between the planting density and the theoretical density. Mechanized transplanting without load, mechanized transplanting with simulated load, and an orthogonal experiment of actual mechanized transplanting were carried out in a winter water-logged paddy field where the depth of mud feet was 23—30 cm and the depth of surface water layer was 3—11 cm. The results showed that the depth of mud feet, the depth of surface water layer and the planting spacing of seedlings had a most significant effect on planting density, and the driving wheel of the rice transplanter and the variety of rice had no significant influence. In a paddy field with a depth of mud feet of 23—30 cm, when the depth of surface water layer was greater than 7 cm, planting density differed with the theoretical density by up to 35.1%. Because of the high randomness, it cannot guarantee planting density and rice yield.

Key words: winter water-logged paddy field; test equipment; mechanized transplanting; planting spacing; density; depth of surface water layer; depth of mud feet

