

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2014.12.019

淮北地区水稻高产机械栽植方式对比*

许轲¹ 常勇^{1,2} 张强^{1,2} 霍中洋^{1,2} 张洪程^{1,2} 戴其根^{1,2}

(1.扬州大学农业部长江流域稻作技术创新中心,扬州 225009; 2.江苏省作物遗传生理重点实验室,扬州 225009)

摘要:以杂交粳稻“甬优2640”、“甬优1640”和常规粳稻“连粳7号”、“徐稻3号”为试验材料,于2011年和2012年研究了钵苗机插、毯苗机插和直播3种机械栽植方式的秧苗素质、生育进程、光合物质生产、温光利用、产量组成及品质。结果表明,移栽时钵苗机插方式秧苗素质各项指标显著高于毯苗机插方式。与钵苗机插稻相比,毯苗机插稻、直播稻各生育时期均推迟,全生育期分别缩短8~10 d和20~22 d,全生育期和不同生育阶段的积温、光照时数以及生育中后期群体生长率和净同化率显著降低。钵苗机插方式水稻产量最高,毯苗机插方式次之,直播方式最低,各栽植方式间差异显著;相同栽植方式下杂交粳稻产量显著高于常规粳稻。钵苗机插稻单位面积穗数较少,但每穗粒数和千粒质量显著提高,最终籽粒产量显著增加;杂交粳稻钵苗机插方式产量分别比毯苗机插、直播方式显著提高10.2%和23.4%,常规粳稻分别显著提高5.6%和19.3%;直播水稻的每穗粒数和千粒质量均处于较低水平。钵苗机插方式水稻籽粒品质较好。在淮北地区钵苗机插稻生育期提前,成熟早,提高了温光资源利用率,比毯苗机插和直播方式具有显著的增产优势,可作为优先选择的水稻机械化栽插方式。

关键词: 麦茬水稻 机械栽植 产量形成 温光利用

中图分类号: S233.71; S511 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2014)12-0117-09

引言

江苏是中国水稻生产水平较高的主产区之一,目前手栽、机插、直播等多种稻作方式并存^[1]。机械插(栽)方式代表了稻作生产可持续发展的方向,据不完全统计^[2],2012年中国水稻机械化种植水平为20%,而江苏达到60%以上。目前,毯苗机插是中国应用面积最大的水稻机械栽插方式,与传统手栽方式相比,在不同稻区存在播种迟,易形成超龄弱秧且植伤重、全生育期短、个体生长量较小、穗型小且整齐度较差、持续增产困难等^[3-7]问题。机械直播方式在中国应用发展迅速,但也存在播种期迟,导致播种量增加,基本苗难控制,个体生长量小,易倒伏、产量较低且不稳定等缺点^[8-10]。诸多研究表明,由于毯苗机插和机械直播方式自身的缺点与不足,致使水稻单产增加困难;而在中国现有国情和农业资源等条件下,持续提升粮食总产量必须依靠单产水平的不断增加。因此,亟待需要研究产量潜力更高的新型水稻机插(栽)生产技术。国内外学者对水稻钵苗机械栽插技术进行了探索研究^[11-13],在

水稻种植一年一熟的日本及中国东北等稻区的生产实践,初步证明了其具有较好的增产潜力^[14-15]。近年来,在光照和热量条件较好的长江中下游稻区,扬州大学对钵苗机插水稻栽培农艺进行了研究,明确了不同栽培措施对钵苗机插水稻秧苗素质的影响^[16],初步研究了钵苗机插水稻光合物质生产特性^[17-18]、群体动态特征^[19]、产量形成特征和主要生理生态特点,明确了钵苗机插水稻在生产适应性、温光资源高效利用和多熟制高产等方面的优势^[20]。江苏淮北地区的主体种植制度为稻麦两熟制,全年光照和热量条件较为紧张,水稻机械插(栽)主要采用毯苗机械栽插和机械直播2种方式。钵苗机插作为一种新型机插方式,能否适应该地区生产条件,与其他机插(栽)相比水稻生产力和稻米品质究竟如何以及生产应用中存在哪些問題,尚缺乏系统研究。为此,本研究在淮北北部的东海县,采用不同类型水稻品种,通过钵苗机插与毯苗机插、直播方式的对比研究,以期明确淮北地区钵苗机插水稻产量和品质特点,为钵苗机插技术在淮北地区及同类地区的应用以及新型水稻栽植机械的研究提供技术支撑。

收稿日期:2014-08-22 修回日期:2014-09-21

*“十二五”国家科技支撑计划资助项目(2011BAD16B03)、公益性行业(农业)科研专项资助项目(201303102)和江苏省科技支撑计划资助项目(BE2012301、BE2013394)

作者简介:许轲,副教授,博士,主要从事作物生理生态及农机农艺配套技术研究,E-mail: xuke@yzu.edu.cn

通讯作者:张洪程,教授,博士生导师,主要从事作物生理生态及农机农艺配套技术研究,E-mail: hc Zhang@yzu.edu.cn

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验于2011年、2012年在连云港东海县平明试验基地进行。前茬为小麦,土壤质地为砂姜黑土,大田0~20 cm土层有机质质量比17.86 g/kg,全氮质量比0.92 g/kg,速效磷质量比31.6 mg/kg,速效钾质量比43.8 mg/kg。

试验材料为杂交粳稻“甬优2640”和“甬优1640”,常规粳稻“连粳7号”和“徐稻3号”。钵苗机插水稻于5月23日采用特制塑料钵体硬盘旱育秧,常规粳稻每穴3~4粒种子,杂交粳稻每穴2~3粒种子。毯苗机插水稻于6月2日采用塑料软盘旱育秧,常规稻每盘播干种子110 g,杂交稻每盘播干种子90 g;直播水稻于6月17日播种,钵苗和毯苗机插水稻均于6月17日移栽。钵苗机插方式采用常州亚美柯生产的RX-60AM型钵苗插秧机移栽,行距×株距为33 cm×12 cm;毯苗机插方式采用东洋PD60型插秧机移栽,行距×株距为30 cm×13.3 cm,直播方式模拟华南农业大学研制的精量穴直播机穴播,行距×株距为30 cm×11.1 cm。常规粳稻每穴栽插3苗,杂交粳稻每穴2苗;钵苗机插和毯苗机插方式基本苗,常规粳稻 7.65×10^5 株/hm²,杂交粳稻 5.1×10^5 株/hm²;直播方式基本苗,常规粳稻 9.0×10^5 株/hm²,杂交粳稻 6.0×10^5 株/hm²。采取裂区设计,栽插方式为主区,品种为裂区。小区面积25 m²,重复3次。各小区间单独肥、水管理。

总施纯氮量300 kg/hm²,氮、磷、钾肥施用量比为1:0.5:0.5,磷肥全部用作基肥,钾肥分别于耕翻前、拔节期各施50%。钵苗机插水稻氮肥基肥、分蘖肥、穗肥量比为3:2:5,分蘖肥于移栽后7 d一次性施用,穗肥于倒4和倒2叶期分2次施用;毯苗机插水稻氮肥基肥、分蘖肥、穗肥质量比为2:4:4,分蘖肥于移栽后7 d和15 d分2次施用,穗肥于倒4叶期和倒3叶期分2次施用;直播水稻氮肥基肥、分蘖肥、穗肥质量比为2:4:4,分蘖肥于4叶期施用,穗肥于叶龄余数3.5~3.0和1.5~1.0叶期分2次施用。水分管理及病虫害防治等栽培措施均按照各自高产要求实施。

1.2 测定项目与方法

秧苗素质:移栽前1 d,取秧苗30株,测定苗高、绿叶数、叶长、叶宽、植株干质量。另取30株测定单株发根力;首先洗去根部土壤,剪去所有不定根,放入蒸馏水中培养10 d后测定发根数(条)。

干物质质量和叶面积:在主要生育期取代表性植株5穴,分叶、茎、鞘、穗4部分(拔节期分为叶和

茎鞘),干燥至恒质量,测定干物质质量;采用比重法测定叶面积。

产量及其构成因子:各小区普查40穴,计算有效穗数,取5穴测量每穗粒数、结实率、千粒质量,计算理论产量。各小区收割10 m²,脱粒、晒干和去除杂质后计算实际产量。

品质指标:先用风选机进行风选,测定糙米率、精米率、整精米率、垩白粒率、垩白大小、垩白度、胶稠度等。采用近红外谷物分析仪测定蛋白质含量和直链淀粉含量。

水稻生育期逐日气温和日照时数等气象资料取自东海县气象站。

水稻群体生长率和净同化率为

$$C_{GR} = (W_2 - W_1) / (t_2 - t_1) \quad (1)$$

$$N_{AR} = [(\ln LAI_2 - \ln LAI_1) / (LAI_2 - LAI_1)] \cdot [(W_2 - W_1) / (t_2 - t_1)] \quad (2)$$

式中 LAI₁、LAI₂——前、后2次测定的叶面积指数

W₁、W₂——前、后2次测定的干物质质量, g

t₁、t₂——前、后2次测定时间, d

C_{GR}——群体生长率, g/(m²·d)

N_{AR}——净同化率, g/(m²·d)

1.3 数据分析方法

采用Microsoft Excel 2003作图,DPS软件进行数据统计分析。2 a的试验结果趋势基本一致,本文主要以2012年的试验数据进行系统分析。

2 结果与分析

2.1 不同机械栽植方式水稻秧苗素质

在移栽前1 d对不同栽植方式秧苗进行测定(表1),测定表明钵苗机插方式秧苗素质各项指标显著高于毯苗机插方式($p < 0.05$),综合表现为叶龄大、绿叶数多、植株高而株体粗壮,带蘖移栽,单株发根力强,地上部分干物质积累多,不同类型品种秧苗素质差异较小。结果表明钵苗机插方式可提前10 d育苗,延长了水稻秧龄时间,提高了秧苗素质,栽插时植株个体质量高。田间观察表明,钵苗机插方式根部有土球,栽插时植株地上部和根系机械伤害轻,有利于栽插后快速活棵和早发生分蘖。

2.2 不同机械栽植方式对水稻全生育期与主要生育期的影响

由表2可知,与钵苗机插方式相比,毯苗机插和直播方式水稻各生育期均有所推迟,成熟期分别推迟1~2 d和3~5 d,全生育期分别缩短8~10 d和20~22 d(表2)。进一步分析表明,与钵苗机插相比,播种-拔节期,杂交粳稻毯苗机插方式减少5 d,

直播方式减少 12 d, 分别占总缩短天数的 62.5% 和 58.5%; 常规粳稻毯苗机插方式减少 6 d, 直播方式减少 16 d, 分别占总缩短天数的 63.2% 和 74.4%。拔节-抽穗期, 杂交粳稻毯苗机插方式比钵苗机插方式减少 2 d, 直播方式减少 4 d, 分别占总缩短天数的 25.0% 和 19.5%; 常规粳稻毯苗机插方式减少 1.5 d, 直播方式减少 2.5 d, 分别占总缩短天数的

15.8% 和 11.6%。抽穗-成熟期, 杂交粳稻毯苗机插方式比钵苗机插方式减少 1 d, 直播方式减少 4.5 d, 分别占总缩短天数的 12.5% 和 22.0%; 常规粳稻毯苗机插方式比钵苗机插方式减少 2 d, 直播方式减少 3 d, 分别占总缩短天数的 21.1% 和 14.0%。毯苗机插稻和直播稻全生育期主要减少了播种-拔节期的天数。

表 1 不同机械栽植方式对水稻单株秧苗素质的影响

Tab. 1 Effects of different mechanical transplanting methods on rice seedling qualities

品种	机械栽植方式	叶龄/叶	苗高/cm	苗粗/mm	单株分蘖数/个	单株发根力/条	百株干物质质量/g	
杂交粳稻	甬优 2640	钵苗机插	5.3 ^a	24.9 ^a	3.4 ^a	0.4	3.2 ^a	9.3 ^a
		毯苗机插	3.2 ^b	14.7 ^b	1.8 ^b	0	2.4 ^b	3.2 ^b
	甬优 1640	钵苗机插	5.2 ^a	23.7 ^a	3.2 ^a	0.5	3.1 ^a	9.5 ^a
		毯苗机插	3.2 ^b	14.5 ^b	1.8 ^b	0	2.3 ^b	3.1 ^b
常规粳稻	连梗 7 号	钵苗机插	5.2 ^a	22.3 ^a	3.0 ^a	0.4	2.9 ^a	8.1 ^a
		毯苗机插	3.2 ^b	13.2 ^b	1.7 ^b	0	2.1 ^b	2.0 ^b
	徐稻 3 号	钵苗机插	5.1 ^a	21.4 ^a	2.8 ^a	0.3	2.6 ^a	7.9 ^a
		毯苗机插	3.0 ^b	12.4 ^b	1.6 ^b	0	1.8 ^b	1.8 ^b
杂交粳稻平均	钵苗机插	5.3 ^a	24.3 ^a	3.3 ^a	0.5	3.2 ^a	9.4 ^a	
	毯苗机插	3.2 ^b	14.6 ^b	1.8 ^b	0	2.4 ^b	3.2 ^b	
常规粳稻平均	钵苗机插	5.2 ^a	21.9 ^a	2.9 ^a	0.4	2.8 ^a	8.0 ^a	
	毯苗机插	3.1 ^b	12.8 ^b	1.7 ^b	0	2.0 ^b	1.9 ^b	

注: 同一品种类型内不同字母表示 5% 水平上差异显著, 下同。

表 2 不同机械栽植方式对水稻主要生育期的影响

Tab. 2 Effects of different mechanical transplanting methods on main rice growth periods

品种	机械栽植方式	拔节期	抽穗期	成熟期	播种-拔节期		拔节-抽穗期		抽穗-成熟期		全生育期减少 天数/d	
					天数/d	减少 天数/d	天数/d	减少 天数/d	天数/d	减少 天数/d		
杂交粳稻	甬优 2640	钵苗机插	07-24	08-23	10-23	62		30		61		
		毯苗机插	07-29	08-26	10-25	57	5	28	2	60	1	8
		直播	08-06	09-01	10-28	50	12	26	4	57	4	20
	甬优 1640	钵苗机插	07-25	08-25	10-24	63		31		60		
		毯苗机插	07-30	08-28	10-26	58	5	29	2	59	1	8
		直播	08-07	09-03	10-28	51	12	27	4	55	5	21
常规粳稻	连梗 7 号	钵苗机插	08-01	08-30	10-26	70		29		57		
		毯苗机插	08-05	09-02	10-27	64	6	28	1	55	2	9
		直播	08-10	09-06	10-29	54	16	27	2	53	4	22
	徐稻 3 号	钵苗机插	08-03	09-02	10-27	72		30		55		
		毯苗机插	08-07	09-04	10-27	66	6	28	2	53	2	10
		直播	08-12	09-08	10-31	56	16	27	3	53	2	21
杂交粳稻平均	钵苗机插				62.5		30.5		60.5			
	毯苗机插				57.5	5	28.5	2	59.5	1	8	
	直播				50.5	12	26.5	4	56	4.5	20.5	
常规粳稻平均	钵苗机插				71		29.5		56			
	毯苗机插				65	6	28	1.5	54	2	9.5	
	直播				55	16	27	2.5	53	3	21.5	

2.3 不同机插(栽)方式对水稻生育期的积温和光照时数的影响

杂交粳稻和常规粳稻 3 种栽植方式全生育期、

播种-拔节期、抽穗-成熟期的平均积温和光照时数表现为直播 < 毯苗机插 < 钵苗机插的趋势, 且差异达显著水平(表 3)。与钵苗机插方式相比, 杂交粳

稻毯苗机插方式全生育期积温和光照时数平均分别减少 5.1% 和 8.3%，常规粳稻分别减少 5.5% 和 9.9%；杂交粳稻直播方式较钵苗机插方式平均分别

减少 14.3% 和 20.9%，常规粳稻平均分别减少 14.4% 和 21.4%。上述结果表明，毯苗机插和直播方式均未能充分利用水稻生长季节的有效温光资源。

表 3 不同机械栽植方式对水稻生育期间积温和光照时数的影响

Tab. 3 Effects of different mechanical transplanting methods on accumulated temperature and illumination hours

品种	机械栽植方式	播种-拔节期		拔节-抽穗期		抽穗-成熟期		全生育期	
		积温/℃	光照时数/h	积温/℃	光照时数/h	积温/℃	光照时数/h	积温/℃	光照时数/h
杂交粳稻	钵苗机插	1 530.8	340.0	785.2	130.2	1 219.8	306.1	3 535.8	776.3
	毯苗机插	1 459.0	290.6	935.5	158.7	962.5	262.0	3 357.0	711.3
	直播	1 312.5	217.2	874.9	147.9	846.6	250.4	3 034.0	615.5
杂交粳稻	钵苗机插	1 558.7	343.3	805.6	146.8	1 184.4	290.2	3 548.7	780.3
	毯苗机插	1 488.1	292.5	930.5	161.5	948.3	262.3	3 366.9	716.3
	直播	1 339.6	223.1	869.8	142.7	824.6	249.7	3 034.0	615.5
常规粳稻	钵苗机插	1 745.2	387.9	751.9	111.3	1 071.6	295.5	3 568.7	794.7
	毯苗机插	1 644.2	315.9	797.9	138.9	937.6	261.5	3 379.7	716.3
	直播	1 424.1	248.5	763.3	116.6	860.3	254.5	3 047.7	619.6
常规粳稻	钵苗机插	1 794.8	388.3	777.8	129.0	1 008.9	277.4	3 581.5	794.7
	毯苗机插	1 697.9	323.9	787.4	135.7	894.4	256.7	3 379.7	716.3
	直播	1 477.3	252.4	754.6	113.4	843.7	263.8	3 075.6	629.6
杂交粳稻平均	钵苗机插	1 544.8 ^a	341.7 ^a	795.4 ^c	138.5 ^c	1 202.1 ^a	298.2 ^a	3 542.3 ^a	778.3 ^a
	毯苗机插	1 473.6 ^b	291.6 ^b	933.0 ^a	160.1 ^a	955.4 ^b	262.2 ^b	3 362.0 ^b	713.8 ^b
	直播	1 326.1 ^c	220.2 ^c	872.4 ^b	145.3 ^b	835.6 ^c	250.1 ^c	3 034.0 ^c	615.5 ^c
常规粳稻平均	钵苗机插	1 770.0 ^a	388.1 ^a	764.9 ^b	120.2 ^b	1 040.3 ^a	286.5 ^a	3 575.1 ^a	794.7 ^a
	毯苗机插	1 671.1 ^b	319.9 ^b	792.7 ^a	137.3 ^a	916.0 ^b	259.1 ^b	3 379.7 ^b	716.3 ^b
	直播	1 450.7 ^c	250.5 ^c	759.0 ^c	115.0 ^c	852.0 ^c	259.2 ^c	3 061.7 ^c	624.6 ^c

2.4 不同机械栽植方式对水稻群体生长率和净同化率的影响

由表 4 可知,同一品种不同栽植方式群体生长率有差异。播种-拔节期 3 种栽植方式间差异显著,表现为钵苗机插 < 毯苗机插 < 直播;拔节-抽穗期钵苗机插方式显著高于其余 2 种栽植方式;抽穗-成熟期,甬优 2640 钵苗机插显著高于其余 2 种栽植方式,甬优 1640 各栽植方式间差异不显著 ($P > 0.05$);连梗 7 号和徐稻 3 号钵苗机插和毯苗机插方式差异不显著 ($P > 0.05$),但均显著高于直播方式。

同一品种不同栽植方式净同化率存在显著差异。播种-拔节期 3 种栽植方式间差异显著,表现为钵苗机插 < 毯苗机插 < 直播方式;拔节-抽穗期,钵苗机插显著高于其余 2 种栽植方式;抽穗-成熟期,甬优 2640 和连梗 7 号各栽植方式间差异显著,甬优 1640 和徐稻 3 号钵苗机插和毯苗机插方式间差异不显著 ($P > 0.05$),但均显著高于直播方式。不同类型水稻品种间,杂交粳稻净同化率次大值出现在播种-拔节期,抽穗-成熟期最小;常规粳稻钵苗机插和毯苗机插方式净同化率次大值出现在抽穗-成熟期,播种-拔节期最小,直播方式净同化率次大值出现在播种-拔节期,抽穗-成熟期最小。

2.5 不同机械栽植方式对水稻产量及其构成因素的影响

由表 5 可知,杂交粳稻和常规粳稻钵苗机插方式平均产量最高,其次为毯苗机插方式,直播方式最低,各栽植方式间差异达显著水平。杂交粳稻钵苗机插方式产量比毯苗机插、直播方式分别显著高 10.2% 和 23.4%,常规粳稻分别显著高 5.6% 和 19.3%。杂交粳稻钵苗机插、毯苗机插和直播方式产量分别比常规粳稻显著高 8.6%、4.1% 和 3.7%。说明钵苗机插比毯苗机插和直播的增产优势显著。

对产量构成因素分析可知,钵苗机插方式水稻单位面积穗数最少,其次为毯苗机插方式,直播方式最高,差异均达显著水平;相同栽植方式中杂交粳稻单位面积穗数显著低于常规粳稻。钵苗机插稻每穗粒数最高,其次为毯苗机插稻,直播稻最少,各栽植方式间差异均达显著水平;不同栽植方式水稻结实率差异不显著,千粒质量表现为钵苗机插方式显著高于其余 2 种机插(栽)方式,毯苗机插与直播方式间差异不显著。上述结果表明,钵苗机插稻在单位面积穗数较少的情况下,依靠显著提高每穗粒数和千粒质量,最终显著增加了籽粒产量。

表 4 不同机械栽植方式对水稻群体生长率和净同化率的影响

Tab. 4 Effects of different mechanical transplanting methods on crop growth rate and net assimilation rate of rice

品种	机械栽植方式	群体生长率/(g·m ⁻² ·d ⁻¹)			净同化率/(g·m ⁻² ·d ⁻¹)			
		播种-拔节期	拔节-抽穗期	抽穗-成熟期	播种-拔节期	拔节-抽穗期	抽穗-成熟期	
杂交粳稻	甬优 2640	钵苗机插	6.79 ^c	23.49 ^a	12.71 ^a	2.26 ^c	3.82 ^a	2.23 ^a
		毯苗机插	7.31 ^b	18.60 ^b	11.91 ^b	2.45 ^b	3.08 ^b	2.16 ^b
		直播	8.38 ^a	18.05 ^b	11.85 ^b	2.82 ^a	3.06 ^b	2.02 ^c
	甬优 1640	钵苗机插	6.63 ^c	23.50 ^a	12.92 ^a	2.22 ^c	3.86 ^a	2.29 ^a
		毯苗机插	7.01 ^b	19.16 ^b	12.42 ^a	2.36 ^b	3.23 ^b	2.28 ^a
		直播	8.07 ^a	18.59 ^b	12.23 ^a	2.72 ^a	3.19 ^b	2.04 ^b
常规粳稻	连粳 7 号	钵苗机插	5.48 ^c	25.16 ^a	12.59 ^a	1.91 ^c	4.46 ^a	2.31 ^a
		毯苗机插	5.90 ^b	22.02 ^b	12.55 ^a	2.07 ^b	4.01 ^b	2.23 ^b
		直播	7.02 ^a	20.44 ^c	11.32 ^b	2.45 ^a	3.76 ^c	2.18 ^c
	徐稻 3 号	钵苗机插	5.37 ^c	24.15 ^a	13.19 ^a	1.86 ^c	4.26 ^a	2.38 ^a
		毯苗机插	5.82 ^b	22.05 ^b	12.81 ^a	2.02 ^b	3.97 ^b	2.35 ^a
		直播	6.85 ^a	20.60 ^c	11.22 ^b	2.39 ^a	3.81 ^c	2.20 ^b
杂交粳稻平均	钵苗机插	6.70 ^c	23.50 ^a	12.82 ^a	2.24 ^c	3.84 ^a	2.26 ^a	
	毯苗机插	7.16 ^b	18.88 ^b	12.14 ^a	2.40 ^b	3.15 ^b	2.22 ^a	
	直播	8.23 ^a	18.33 ^b	12.08 ^a	2.77 ^a	3.13 ^b	2.03 ^b	
常规粳稻平均	钵苗机插	5.43 ^c	24.67 ^a	12.89 ^a	1.89 ^c	4.36 ^a	2.34 ^b	
	毯苗机插	5.86 ^b	22.05 ^b	12.68 ^a	2.05 ^b	3.99 ^b	2.29 ^a	
	直播	6.94 ^a	20.54 ^c	11.28 ^b	2.42 ^a	3.79 ^c	2.19 ^c	

表 5 不同机械栽植方式对水稻产量及其构成因素的影响

Tab. 5 Effects of different mechanical transplanting methods on rice yield and its components

品种	机械栽植方式	穗数/(穗·hm ⁻²)	每穗粒数/粒	结实率/%	千粒质量/g	实际产量/(t·hm ⁻²)		
						2011	2012	
杂交粳稻	甬优 2640	钵苗机插	2.235 × 10 ^{6c}	225.1 ^a	92.5 ^a	26.5 ^a	11.84 ^a	12.04 ^a
		毯苗机插	2.595 × 10 ^{6b}	183.8 ^b	91.3 ^a	25.9 ^b	10.79 ^b	10.96 ^b
		直播	2.880 × 10 ^{6a}	153.2 ^c	90.5 ^a	25.2 ^b	9.56 ^c	9.73 ^c
	甬优 1640	钵苗机插	2.460 × 10 ^{6c}	213.6 ^a	92.6 ^a	26.3 ^a	12.12 ^a	12.35 ^a
		毯苗机插	2.865 × 10 ^{6b}	171.2 ^b	91.4 ^a	25.8 ^b	10.56 ^b	11.18 ^b
		直播	3.195 × 10 ^{6a}	142.7 ^c	90.1 ^a	25.2 ^b	9.72 ^c	10.03 ^c
常规粳稻	连粳 7 号	钵苗机插	2.970 × 10 ^{6c}	150.7 ^a	94.8 ^a	27.6 ^a	11.23 ^a	11.43 ^a
		毯苗机插	3.195 × 10 ^{6b}	141.2 ^b	93.5 ^a	26.3 ^b	10.52 ^b	10.74 ^b
		直播	3.360 × 10 ^{6a}	122.4 ^c	92.2 ^a	26.1 ^b	9.31 ^c	9.53 ^c
	徐稻 3 号	钵苗机插	3.240 × 10 ^{6c}	135.3 ^a	94.9 ^a	27.2 ^a	10.83 ^a	11.03 ^a
		毯苗机插	3.525 × 10 ^{6b}	121.7 ^b	93.4 ^a	26.8 ^b	10.28 ^b	10.52 ^b
		直播	3.720 × 10 ^{6a}	105.5 ^c	92.6 ^a	26.4 ^b	9.06 ^c	9.30 ^c
杂交粳稻平均	钵苗机插	2.348 × 10 ^{6c}	219.4 ^a	92.6 ^a	26.4 ^a	11.89 ^a	12.19 ^a	
	毯苗机插	2.730 × 10 ^{6b}	177.5 ^b	91.4 ^a	25.9 ^b	10.75 ^b	11.07 ^b	
	直播	3.038 × 10 ^{6a}	148.0 ^c	90.3 ^a	25.2 ^b	9.58 ^c	9.88 ^c	
常规粳稻平均	钵苗机插	3.105 × 10 ^{6c}	143.0 ^a	94.9 ^a	27.4 ^a	11.01 ^a	11.23 ^a	
	毯苗机插	3.360 × 10 ^{6b}	131.5 ^b	93.5 ^a	26.6 ^b	10.25 ^b	10.63 ^b	
	直播	3.540 × 10 ^{6a}	114.0 ^c	92.4 ^a	26.3 ^b	9.12 ^c	9.52 ^c	

2.6 不同机械栽植方式对稻米主要品质性状的影响

不同机械栽植方式对水稻稻米品质指标的影响存在差异(表 6)。不同机械栽植方式对糙米率的影响差异不显著($P > 0.05$),对精米率和整精米率影响没有明显规律,但同一品种均以毯苗机插方式最高。不同栽植方式间垩白率差异不显著($P > 0.05$);垩白大小和垩白度表现为毯苗机插稻 > 钵

苗机插稻 > 直播稻,不同机械栽植方式间差异达显著水平。不同栽植方式对直链淀粉含量和胶稠度的影响差异不显著($P > 0.05$)。蛋白质含量表现为 2 个杂交粳稻品种不同机械栽植方式间差异不显著($P > 0.05$),2 个常规稻品种钵苗机插与毯苗机插方式间差异不显著($P > 0.05$),但均显著高于直播方式。

表6 不同机械栽植方式对稻米品质的影响

Tab.6 Effects of different mechanical transplanting methods on rice qualities

品种	机械栽植方式	糙米率/%	精米率/%	整精米率/%	垩白率/%	垩白大小/%	垩白度/%	直链淀粉含量/%	胶稠度/mm	蛋白质含量/%
杂交粳稻	甬优 2640 钵苗机插	84.13 ^a	75.91 ^{a,b}	71.19 ^b	37.12 ^a	18.71 ^b	6.98 ^b	16.03 ^b	72.56 ^a	9.20 ^a
	甬优 2640 毯苗机插	83.87 ^a	76.70 ^a	72.56 ^a	35.64 ^a	32.07 ^a	11.53 ^a	16.33 ^{ab}	72.17 ^a	9.21 ^a
	甬优 2640 直播	83.63 ^a	75.45 ^b	69.67 ^c	33.16 ^a	16.23 ^c	5.43 ^c	16.73 ^a	71.57 ^a	9.05 ^a
杂交粳稻	甬优 1640 钵苗机插	84.07 ^a	76.43 ^b	73.04 ^a	28.71 ^a	29.50 ^b	8.52 ^b	14.15 ^b	79.29 ^a	9.21 ^a
	甬优 1640 毯苗机插	83.98 ^a	77.35 ^a	73.59 ^a	26.23 ^{ab}	35.73 ^a	9.45 ^a	14.35 ^{ab}	78.80 ^a	9.35 ^a
	甬优 1640 直播	83.96 ^a	75.86 ^b	71.80 ^b	22.27 ^b	21.18 ^c	4.76 ^c	14.65 ^a	78.31 ^a	9.11 ^a
常规粳稻	连梗 7 号 钵苗机插	84.20 ^a	75.41 ^{a,b}	70.48 ^b	24.75 ^a	21.58 ^b	5.37 ^b	14.94 ^a	72.36 ^a	9.75 ^a
	连梗 7 号 毯苗机插	84.25 ^a	75.99 ^a	71.66 ^a	23.76 ^a	33.46 ^a	8.01 ^a	15.14 ^a	72.07 ^a	9.51 ^a
	连梗 7 号 直播	84.65 ^a	75.31 ^b	70.19 ^b	21.78 ^a	18.21 ^c	3.98 ^c	15.34 ^a	71.57 ^a	8.91 ^b
	徐稻 3 号 钵苗机插	83.57 ^a	74.72 ^b	70.17 ^b	23.26 ^a	17.62 ^b	4.11 ^b	15.34 ^b	75.24 ^a	9.85 ^a
	徐稻 3 号 毯苗机插	83.33 ^a	75.57 ^a	71.81 ^a	22.77 ^a	23.16 ^a	5.33 ^a	15.64 ^{a,b}	74.84 ^a	9.55 ^a
徐稻 3 号 直播	83.36 ^a	74.37 ^b	69.56 ^b	22.77 ^a	13.76 ^c	3.13 ^c	16.03 ^a	74.54 ^a	8.91 ^b	

3 讨论

3.1 钵苗机插水稻在淮北地区增产的主要因素

目前普遍采用的毯苗机插和直播等机械栽插方式,不同程度地缩短了水稻全生育期时长,抑制了个体生长和群体质量的提升,在一定程度上是“短生育、小穗型”栽培^[21]。在正常生育条件下,水稻产量一般随全生育期的延长呈增加趋势^[22],且全生育期受到播栽期^[23]、种植方式^[24]及生态条件^[25]等因素的显著影响。不同种植方式水稻因生育期所处的温度、光照等环境条件不同,形成了不同的产量和品质特征。李杰等^[9]研究表明,与传统栽插方式相比,机插和直播方式水稻全生育期减少 14 d 和 30 d,产量分别减少 6.28% 和 23.28%。张洪程等^[20]在多地比较研究认为钵苗机插水稻产量形成优势在于“穗大粒多”,抗倒伏力较强。本研究条件下,毯苗机插秧龄大,秧苗素质显著得到提升;与钵苗机插稻相比,毯苗机插稻和直播稻各生育进程均有延迟,全生育期缩短,全生育期积温和光照时数显著下降,进而显著影响了产量和品质,表现出钵苗机插水稻产量显著高于毯苗机插和直播方式,同时部分稻米品质指标较好。

不同栽植方式水稻产量构成因素对产量的贡献,已有研究结果结论不一^[26-28]。本研究表明,钵苗机插稻在单位面积穗数较少的情况下,依靠提高每穗粒数和千粒质量,最终增加了籽粒产量,这与张洪程等^[20]研究结果基本一致。

本研究结果表明,可以合理增加水稻全生育期时长、提高秧苗素质和栽插质量等是淮北地区钵苗机插水稻产量提高的重要因素。

3.2 水稻钵苗机插方式应用及其存在的问题

水稻生产具有严格的地域性,不同稻区适宜的栽插方式也各不相同。何瑞银等^[4]认为,南方一季稻区优选种植方式为机械插秧、机械直播和手工插秧。程建平等^[5]研究表明,机械精量穴直播利于加快水稻生育进程,比人工撒播和手插方式显著增产。罗锡文等^[29]认为,机械直播是珠江三角洲地区的重要栽植方式。已有研究表明,不同栽插方式水稻对生长季节温度和光照资源的高效利用是水稻形成足量壮秆大穗、提高产量的重要限制因子^[30-32]。在中国资源约束型的一年两熟制稻区,适宜的机插方式应是在作物周年多熟制生产条件下,有利于高效利用温光等自然资源,促进水稻单产的持续提高。本研究表明,3种机械化栽植方式中,钵苗方式能较好地适于温光资源紧张的淮北地区推广应用;此外,大穗型杂交稻也适合于钵苗机插方式。

在江苏、安徽和江西等地试验示范表明,钵苗机插水稻采用钵体长秧龄旱育苗,兼有手栽稻和毯苗机插稻优势,显示出较强的增产优势^[20]。但作为一项正在成熟和完善的技术,尚有若干实际问题亟待解决,主要表现为钵苗机插技术相配套的农机与设备价格高,尤其是秧盘价格,在很大程度上制约钵苗机插技术的推广应用;其次是插秧机对秧盘中钵体含水率以及育秧质量要求较高,影响插秧机作业效率等。因此,应在以下方面强化研究,一是强化农机与农艺一体化融合研究,提高钵苗机插对不同种植制度、不同类型水稻品种应用的适应性;二是研制低成本、适应性广的机械及配套机具;三是进一步深入揭示不同生态区钵苗机插水稻生育特性与产量形成规律,并因地制宜集成本土化的钵苗机插水稻(超)高产、高效标准化栽培技术体系,提升技术的可操作

性和适应性,从而为中国水稻生产现代化提供有效技术支撑。

4 结论

(1) 钵苗机插水稻秧苗素质较高,秧龄大,且带土带蘖栽植,群体起点质量高。

(2) 钵苗机插水稻全生育期天数增加;全生育

期积温和光照时数高;群体中后期群体生长率和净同化率高。

(3) 钵苗机插水稻单位面积穗数较少,依靠每穗粒数和千粒质量的显著提高,最终显著增加了籽粒产量,杂交粳稻钵苗机插方式产量比毯苗机插、直播方式分别高 10.2% 和 23.4%,常规粳稻分别高 5.6% 和 19.3%;同时,部分稻米品质指标较好。

参 考 文 献

- 杜永林. 江苏省水稻品种选育利用现状与发展对策[J]. 江苏农业科学,2010(1): 9-13.
- 朱德峰. 水稻机插育秧技术[M]. 北京:中国农业出版社,2010.
- Rashid M H, Alam M M, Hossain K M A, et al. Productivity and resource use of direct-(drum)-seeded and transplanted rice in puddled soils in rice-rice and rice-wheat ecosystems[J]. Field Crops Research,2009,113(3): 274-281.
- 何瑞银,罗汉亚,李玉同,等. 水稻不同种植方式的比较试验与评价[J]. 农业工程学报,2008,24(1): 167-171.
He Ruiyin, Luo Hanyu, Li Yutong, et al. Comparison and analysis of different rice planting methods in China[J]. Transactions of the CSAE,2008,24(1): 167-171. (in Chinese)
- 程建平,罗锡文,樊启洲,等. 不同种植方式对水稻生育特性和产量的影响[J]. 华中农业大学学报,2010,29(1): 1-5.
Cheng Jianping, Luo Xiwen, Fan Qizhou, et al. Influence of different planting methods on growth and development characteristics and yield of rice[J]. Journal of Huazhong Agricultural University,2010,29(1): 1-5. (in Chinese)
- 宫坂昭. 机插水稻栽培的原理和应用[M]. 钱亮,译. 北京:中国农业出版社,1983.
- 郭振华. 机插与手栽稻生长发育、产量及品质差异的比较研究[D]. 扬州:扬州大学,2009.
Guo Zhenhua. Differences on growth, yield and grain quality of rice transplanted by rice transplanter and hand[D]. Yangzhou: Yangzhou University,2009. (in Chinese)
- 张洪程,李杰,姚义,等. 直播稻种植科学问题研究[M]. 北京:中国农业科学技术出版社,2009.
- 李杰,张洪程,董洋阳,等. 不同生态区栽培方式对水稻产量、生育期及温光利用的影响[J]. 中国农业科学,2011,44(13): 2661-2672.
Li Jie, Zhang Hongcheng, Dong Yangyang, et al. Effects of cultivation methods on yield, growth stage and utilization of temperature and illumination of rice in different ecological regions[J]. Scientia Agricultura Sinica,2011,44(13): 2661-2672. (in Chinese)
- 李杰,张洪程,龚金龙,等. 不同种植方式对超级稻植株抗倒伏能力的影响[J]. 中国农业科学,2011,44(11): 2234-2243.
Li Jie, Zhang Hongcheng, Gong Jinlong, et al. Effects of different planting methods on the culm lodging resistance of super rice[J]. Scientia Agricultura Sinica,2011,44(11): 2234-2243. (in Chinese)
- 马瑞峻,区颖刚,赵祚喜,等. 水稻钵苗机械手取秧有序移栽机的改进[J]. 农业工程学报,2003,19(1): 113-116.
Ma Ruijun, Ou Yinggang, Zhao Zuoxi, et al. Development of the order throwing machine for rice seedlings sprouted in the cell-tray[J]. Transactions of the CSAE,2003,19(1): 113-116. (in Chinese)
- 王立臣,王苹,李益民,等. 2ZPY-H530型水稻钵苗行栽机试验研究[J]. 中国农业大学学报,2002,7(4): 21-24.
Wang Licheng, Wang Ping, Li Yimin, et al. Research on trial of pot seedling of mechanical transplanted rice (2ZPY-H530)[J]. Journal of China Agricultural University, 2002, 7(4): 21-24. (in Chinese)
- 陈恒高,张义峰,董晓威. 新型水稻栽植机的研究[J]. 黑龙江八一农垦大学学报,2005,17(4): 39-41.
Chen Henggao, Zhang Yifeng, Dong Xiaowei. Study on a new type rice transplanting machine[J]. Journal of Heilongjiang August First Land Reclamation University, 2005, 17(4): 39-41. (in Chinese)
- 仙北谷康. 大規模稲作農家の展開過程に関する研究[J]. 農業経営研究,1989(15): 29-43.
Senboku Koku. The research on the evolution of large-scale rice[J]. Agricultural Management Research,1989(15): 29-43. (in Japanese)
- 孙德超,李晓东,姜阿利,等. 水稻钵育秧苗机插技术特点及其优势[J]. 农业机械,2010(20): 69.
- 宋云生,张洪程,戴其根,等. 水稻钵苗机插秧苗素质的调控研究[J]. 农业工程学报,2013,29(22): 11-22.
Song Yunsheng, Zhang Hongcheng, Dai Qigen, et al. Study on the seedling quality regulation of rice potted-seedling in the mechanical transplanting[J]. Transactions of the CSAE,2013,29(22): 11-22. (in Chinese)
- 宋云生,张洪程,戴其根,等. 水稻机栽钵苗单穴苗数对分蘖成穗及产量的影响[J]. 农业工程学报,2014,30(10): 37-47.
Song Yunsheng, Zhang Hongcheng, Dai Qigen, et al. Effect of rice potted-seedlings per hole by mechanical transplanting on tillers emergence, panicles formation and yield[J]. Transactions of the CSAE,2014,30(10): 37-47. (in Chinese)
- 朱聪聪,张洪程,郭保卫,等. 钵苗机插密度对不同类型水稻产量及光合物质生产特性的影响[J]. 作物学报,2014,40(1): 122-133.
Zhu Congcong, Zhang Hongcheng, Guo Baowei, et al. Effect of different density on the yield and the photosynthetic material production characteristics of different types of rice under bowl mechanical-transplanting method[J]. Acta Agronomica Sinica, 2014,40(1): 122-133. (in Chinese)

- 19 胡雅杰,邢志鹏,龚金龙,等. 钵苗机插水稻群体动态特征及高产形成机制的探讨[J]. 中国农业科学,2014,47(5): 865-879.
Hu Yajie, Xing Zhipeng, Gong Jinlong, et al. Study on population characteristics and formation mechanisms for high yield of pot-seedling mechanical transplanting rice[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2014, 47(5): 865-879. (in Chinese)
- 20 张洪程,朱聪聪,霍中洋,等. 钵苗机插水稻产量形成优势及主要生理生态特点[J]. 农业工程学报,2013,29(21): 50-59.
Zhang Hongcheng, Zhu Congcong, Huo Zhongyang, et al. Advantages of yield formation and the characteristics of physiological and ecological of nutrition bowl mechanical-transplanting rice[J]. Transactions of the CSAE, 2013, 29(21): 50-59. (in Chinese)
- 21 张洪程,张军,龚金龙,等“籼改粳”的生产优势及其形成机理[J]. 中国农业科学,2013,46(4): 686-704.
Zhang Hongcheng, Zhang Jun, Gong Jinlong, et al. The productive advantages and formation mechanisms of “indica rice to japonica rice” [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2013, 46(4): 686-704. (in Chinese)
- 22 汪本福. 粳稻不同生育期类型品种产量形成特性与品质特征研究[D]. 扬州:扬州大学,2006.
Wang Benfu. Study on the characteristics of yield form and quality of different growth period types japonica rice[D]. Yangzhou: Yangzhou University, 2006. (in Chinese)
- 23 李秀芬,贾燕,黄元才,等. 播栽期对水稻产量和产量构成因素及生育期的影响[J]. 生态学杂志,2004,23(5): 98-100.
Li Xiufen, Jia Yan, Huang Yuancai, et al. Effects of seeding time on grain yield, yield components and growth duration in different rice varieties[J]. Chinese Journal of Ecology, 2004, 23(5): 98-100. (in Chinese)
- 24 马殿荣,陈温福,王庆祥,等. 水稻乳苗抛栽与其他栽培方式的比较研究[J]. 沈阳农业大学学报,2003,34(5): 336-339.
Ma Dianrong, Chen Wenfu, Wang Qingxiang, et al. Between rice nurseling seedling scattering and other planting patterns [J]. Journal of Shenyang Agricultural University, 2003, 34(5): 336-339. (in Chinese)
- 25 杨知建. 湖南省杂交水稻气候生态适应性研究 II. 杂交水稻的生育期变化规律及其与气象生态条件的关系[J]. 湖南农学院学报,1990,16(4): 315-324.
Yang Zhijian. Studies on the climatic ecological adaptability of hybrid II. variation regularity of growth duration of hybrid rice and the relation with climatic ecological conditions [J]. Journal of Hunan Agricultural College, 1990, 16(4): 315-324. (in Chinese)
- 26 彭俊华,李有春. 水稻籼、粳两亚种产量构成特点的剖析与比较[J]. 四川农业大学学报,1990,8(3): 162-168.
Peng Junhua, Li Youchun. The dissection and comparison of yield formation for *indica* and *sinica* subspecies in rice[J]. Journal of Sichuan Agricultural University, 1990, 8(3): 162-168. (in Chinese)
- 27 姚立生,高衡广,杨立彬,等. 江苏省五十年代以来中籼稻品种产量及有关性状的演变[J]. 江苏农业学报,1990,6(3): 38-44.
Yao Lisheng, Gao Hengguang, Yang Libin, et al. Evolution of yield and related characters of medium indica rice cultivars in Jiangsu since 1950s [J]. Jiangsu Journal of Agricultural Sciences, 1990, 6(3): 38-44. (in Chinese)
- 28 Yang Jianchang, Zhang Jianhua. Grain-filling problem in “super” rice[J]. Journal of Experimental Botany, 2010, 61(1): 1-5.
- 29 罗锡文,谢方平,区颖刚,等. 水稻生产不同栽植方式的比较试验[J]. 农业工程学报,2004,20(1): 136-139.
Luo Xiwen, Xie Fangping, Ou Yinggang, et al. Experimental investigation of different transplanting methods in paddy production [J]. Transactions of the CSAE, 2004, 20(1): 136-139. (in Chinese)
- 30 Katsura K, Maeda S, Lubis I, et al. The high yield of irrigated rice in Yunnan, China: ‘A cross-location analysis’ [J]. Field Crops Research, 2008, 107(1): 1-11.
- 31 周鸿凯,郭建夫,黎华寿,等. 光温因子与杂交水稻生态群体的产量和品质性状的典型相关分析[J]. 应用生态学报,2006,17(4): 663-667.
Zhou Hongkai, Guo Jianfu, Li Huashou, et al. Canonical correlations of light and temperature with yield and quality characters of F1 ecological populations of hybrid rice [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2006, 17(4): 663-667. (in Chinese)
- 32 蔡昆争,骆世明. 不同生育期遮光对水稻生长发育和产量形成的影响[J]. 应用生态学报,1999,10(2): 193-196.
Cai Kunzheng, Luo Shiming. Effect of shading on growth, development and yield formation of rice [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 1999, 10(2): 193-196. (in Chinese)

Optimal Mechanical Transplanting Method for High-yield Rice in Huaibei Area

Xu Ke¹ Chang Yong^{1,2} Zhang Qiang^{1,2} Huo Zhongyang^{1,2} Zhang Hongcheng^{1,2} Dai Qigen^{1,2}

(1. Innovation Center of Rice Cultivation Technology in Yangtze River Valley, Ministry of Agriculture, Yangzhou 225009, China

2. Key Laboratory of Crop Genetics and Physiology of Jiangsu Province, Yangzhou University, Yangzhou 225009, China)

Abstract: From 2011 to 2012, a series of field experiments were conducted in Donghai county, Huaibei region of Jiangsu Province under typical annual rice-wheat cropping rotation system. Two conventional *japonica* varieties, Zhendao 11 and Yongyou 8, and two hybrid *japonica* varieties, Yongyou 1640 and Yongyou 2640, were grown under three mechanical transplanting methods, bowl-seedling, blanket-

seedling, and direct-seeding mechanical-transplanting, to determine the diversity of seedling quality, growth duration, photosynthetic production, accumulated temperature and illumination hours, yield components, and grain quality. Results showed that the seedling quality of bowl-seedling of the mechanical transplanting rice was significantly better than that of blanket-seedling mechanical transplanting rice. Compared with bowl-seedling of the mechanical transplanting rice, each growth period were postponed in blanket-seedling mechanical transplanting rice and direct-seeding mechanical transplanting rice, and whole growth period was shorted about 8 ~ 10 d and 20 ~ 22 d, respectively. Accumulated temperature and illumination hours of whole growth period and different growth stages were lower, and then led significantly lower crop growth rate and net assimilation rate in mid-to-late growth period. The yield of bowl-seedling mechanical transplanted rice was the highest and the yield of direct-seeding mechanical transplanted rice was the lowest. Yield components of bowl-seedling mechanical transplanted rice had the characteristics of significantly less number of panicle per unit area, significantly higher spikelets per panicle and kilo-grains weigh, and bowl-seedling mechanical transplanted method significantly increased grain yield by 10.2% and 23.4% than blanket-seedling and direct-seeding mechanical-transplanting method in hybrid rice, respectively, and by 5.6% and 19.3% in conventional rice, respectively. Moreover, grain quality of bowl-seedling mechanical transplanted rice was the best. Studies indicate that bowl-seedling mechanical transplanted method is a priority selection in Huaibei area.

Key words: Rice following wheat Mechanical transplanting Yield formation Utilization of temperature and illumination

(上接第 108 页)

- 15 杨诗军,姚文席. 凯斯 8545 与 Welger AP-530 牧草方捆机打结器结构及效能比较[J]. 机械研究与应用, 2006, 19(1): 93, 103.
Yang Shijun, Yao Wenxi. Comparing about structure and efficiency between CASE 8545 and Welger AP-530 of baler[J]. Mechanical Research & Application, 2006, 19(1): 93, 103. (in Chinese)
- 16 张海波,常影,范红媛,等. 基于 CATIA 的汽车悬架控制臂逆向造型研究[J]. 制造业自动化, 2013, 35(11): 100-101.
Zhang Haibo, Chang Ying, Fan Hongyuan, et al. Reverse modeling of automobile suspension control arm based on CATIA[J]. Manufacturing Automation, 2013, 35(11): 100-101. (in Chinese)
- 17 刘智强. D 型打结器钳嘴结构性能分析研究[D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学, 2009.
Liu Zhiqiang. Research on structure and performance of eagle nose pliers for deering-knotter[D]. Huhhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2009. (in Chinese)

Reconstitution and Motion Simulation of D-bale Knotter Based on Reverse Engineering

Chen Longjian Li Cheng Zhang Anqi Li Haitao Han Lujia
(College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract: D-bale knotter is one of the key parts of square baler, which influences the efficiency and quality of baler. Based on reverse engineering, D-bale knotter was reconstituted and the accuracy of working surfaces was analyzed. The results showed that more than 90% domain for all the working surfaces can achieve the precise level above. Reconstruction parts of D-bale knotter were assembled and then simulated by using the software Solidworks. The angular velocity and displacement data of twine holder, bill hook, wiping arm, and driving dentate disc were obtained and the movement relationships of these parts were further analyzed. This study will provide basic data for the optimization of D-bale knotter.

Key words: Square baler Knotter Reverse engineering 3D-reconstruction Simulation