

山东省水稻免耕旱直播试验及可行性分析

张银平, 杜瑞成^{*}, 刁培松, 杨善东

(山东理工大学农业工程与食品科学学院, 淄博 255049)

摘要:为探究水稻免耕旱直播在山东省的适应性, 使用 2BDMM-8 稻麦宽苗带灭茬播种机, 在涛雒稻麦轮作两熟区和高青春季稻一熟区分别进行了免耕旱直播试验, 以机械育苗插秧为对照, 分析免耕旱直播对水稻株高、分蘖情况的影响, 对不同种植方式下的水稻产量及产量构成因素、生产成本等进行统计分析。结果表明: 水稻免耕旱直播与机械育苗插秧相比, 生育期短, 生长速度快, 株高无显著差异; 分蘖率分别为 57%和 58%, 比插秧对照低 6.5%和 10.4%; 产量分别为 8 970 和 10 020 kg/hm², 与插秧对照无显著差异 ($P<0.05$), 验证了水稻免耕旱直播在山东常规稻种植区基本可行。通过成本比较, 免耕旱直播成本比插秧对照分别节约 2 472 和 3 312 元/hm², 说明免耕旱直播在山东地区有很好的推广前景。该研究为山东常规稻种植区免耕旱直播提供了参考。

关键词: 农作物; 机械化; 试验; 水稻; 免耕; 旱直播; 产量; 成本

doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2016.12.004

中图分类号: S344

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2016)-12-0024-07

张银平, 杜瑞成, 刁培松, 杨善东. 山东省水稻免耕旱直播试验及可行性分析[J]. 农业工程学报, 2016, 32(12): 24-30. doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2016.12.004 <http://www.tcsae.org>

Zhang Yinping, Du Ruicheng, Diao Peisong, Yang Shandong. Experiment of no-tillage and drought direct sowing rice and feasibility analysis in Shandong Province[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2016, 32(12): 24-30. (in Chinese with English abstract) doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2016.12.004 <http://www.tcsae.org>

0 引言

水稻直播省工省力, 在欧美国家已经普遍采用^[1-2]。日本在进行水稻直播的同时采用侧深施肥技术, 比普通直播稻增产 5%~10%, 比普通移栽稻省工 360~400 h/hm², 增加经济效益 1 285 元/hm², 节省成本 15%~20%^[3-4]。水稻直播对实现水稻生产的轻型化、专业化、规模化有重要意义, 随着农村劳动力的短缺, 以及高效除草剂的成功研制, 中国水稻直播面积不断扩大^[4-5]。

水稻是山东的主要粮食作物之一, 又是高产高效作物, 主要集中在山东南部地区及黄河沿岸县市。随着水稻新品种、新技术的推广, 山东水稻种植面积有所扩大, 接近 130 万 hm²^[6-7]。长期以来, 山东水稻的种植模式以插秧为主, 插秧前要进行土地的精细整备。华南农业大学的罗锡文院士带领团队致力于水稻机械化直播技术与装备的研究, 研制了水稻精量穴直播机, 在国内开展了多点试验, 取得了突破 15 000 kg/hm²的高产量^[8-10]。2014 年开始, 罗锡文院士联合山东理工大学, 在淄博和滨州沿黄两地开展了一年一熟直播可行性试验, 同时山东省

农科院水稻研究所也在东营济南军区后勤基地开展了直播试验。张中华^[11]在武汉地区探索了水稻直播与产量的影响。李刚等^[12]研究了上海地区不同种植模式对水稻生长发育及产量的影响, 证明了种植方式对水稻发育期影响较小。但水稻直播与常规插秧相比受气候条件、土质条件影响较大, 并且现有水稻直播技术均对整地要求较高^[13-14]。

本研究是在参与罗锡文院士水稻直播试验的基础上, 结合山东水稻种植区的气候条件、土质条件进行的免耕旱直播试验, 试验包括稻麦两熟区免耕直播和春季稻一熟区免耕旱直播试验。试验与机械育苗插秧进行对照, 研究免耕旱直播对水稻产量及产量构成要素的影响, 同时对 2 种植模式的成本进行比较分析, 探索水稻免耕旱直播在山东的适应性。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

本研究选择山东省日照市东港区涛雒镇和淄博市高青县。两地分别为稻麦两熟区和春季稻一熟区, 代表山东省不同熟制下的水稻种植情况。

涛雒镇位于山东省东南沿海, 属暖温带湿润季风气候, 冬季平均气温在 0℃以上, 夏季平均气温 25℃, 年平均气温 12.6℃, 年日照 2 532.9 h, 降水量 916 mm, 既有南方的温暖湿润, 又有北方的四季分明, 是典型的稻麦两熟区; 土壤类型为水稻土, 旱涝保收^[15-17], 有机质 25.82 g/kg, pH 值 7.57, 碱解氮 103.32 mg/kg, 速效磷 14.19 mg/kg, 速效钾 160.83 mg/kg; 试验田前茬作物小麦。

收稿日期: 2016-02-19 修订日期: 2016-03-10

基金项目: 山东省农机装备研发创新项目 (NJGG201502)

作者简介: 张银平, 女, 山东德州人, 博士生, 主要从事旱作农业机械化体系及装备研究。淄博 山东理工大学农业工程与食品科学学院, 255049。

Email: zhangyinping929@163.com

※通信作者: 杜瑞成, 男, 山东临沂人, 教授, 博士生导师, 主要从事旱作农业机械化体系及装备研究。淄博 山东理工大学农业工程与食品科学学院, 255049。Email: drc@sdu.edu.cn

高青县位于黄河沿岸,属北温带大陆性季风型气候,年均日照时数为 1 987.2 h,年均气温 13.4℃,年均降水量为 598.1 mm,全年无霜期平均 224 d,冬季寒冷,夏季炎热,是典型的春季稻一熟区^[17];土壤类型为潮土,有机质 24.62 g/kg, pH 值 7.89,碱解氮 122.53 mg/kg,速效磷 18.20 mg/kg,速效钾 220.20 mg/kg。试验田面积 1 hm²,均分成 3 块,3 次重复;对照田面积 1 hm²,均分成 3 块,3 次重复。

1.2 供试品种

根据两试验区的气候条件和熟制选择品种。涛雒试验田选择生育期较短的临早 1 号,属粳型常规早稻,山东省临沂市水稻研究所选育,生育期 125 d,平均株高 81.3 cm,平均穗长 13.9 cm,平均每穗粒数 96.9 粒,平均结实率 80.1%,千粒质量 26.4 g,一般 6 月中上旬播种,播量为 90~135 kg/hm²^[18]。

高青试验田选择圣稻 19,属常规粳稻,山东省水稻研究所选育,生育期 147 d,平均株高 101.1 cm,穗长 15.5 cm,每穗总粒数 134 粒,结实率 84.8%,千粒质量 26.4 g,一般 5 月下旬插秧,栽植密度 30 万穴/hm²左右,每穴 3~5 苗^[19]。

1.3 方法

1.3.1 上茬作物处理

涛雒稻麦两熟区免耕旱直播处理要求上茬小麦收获时秸秆切段,切断长度≤10 cm,均匀抛撒;高青春季稻一熟区免耕旱直播要求上年水稻收获时秸秆切段,切断长度≤10 cm,均匀抛撒。对照的机械育苗插秧,在插秧前 1 d 灌水,保持水层 0~3 cm,然后对水田进行打浆作业,泥浆深度 15~18 cm。

1.3.2 播种

使用种衣剂包衣,无需催芽,播种前晒种 1~2 d,增加种皮的通气性,提高发芽率^[18-19]。

涛雒试验田免耕旱直播时间为 2015 年 6 月 10 日,播种量 127.5 kg/hm²;高青试验田免耕旱直播时间为 2015 年 5 月 11 日,播种量 102 kg/hm²。播种时均使用 2BDMM-8 型稻麦宽苗带灭茬播种机,该播种机技术参数如表 1 所示。

表 1 2BDMM-8 型稻麦宽苗带灭茬播种机技术参数

Table 1 Technical parameters of 2BDMM-8 Planter with wide seedlings and stubble cleaning for both rice and wheat

项目 Project	参数 Parameters
行数 Rows	8
行距 Rowspan/cm	30
苗带宽度 Seeding width/cm	14
播种深度 Planting depth/cm	2~3
施肥深度 Fertilizing depth/cm	10~12
配套动力 Power/kW	80

现有的水稻水、旱直播机多为穴播机,本研究受余松烈院士提出的小麦宽行宽苗带播种技术的启发,将宽行宽苗带播种技术应用于水稻,探索水稻宽行宽苗带播种技术是否可行。

两试验区育苗播种量均为 45 kg/hm²,移栽时秧龄

30 d,叶龄为 3 叶 1 芯,苗高 20 cm。涛雒试验田移栽期为 2015 年 7 月 10 日,高青试验田对照机械育苗移栽期为 2015 年 5 月 28 日。插秧机使用久保田 NSD8 型,行距 30 cm,穴距 12 cm,每穴平均 3 株苗。

1.3.3 灌溉

涛雒试验田土壤类型为水稻土,若播种时土壤含水率较低,不能保证稻种出苗,播种后要及时浇蒙头水;高青处于沿黄地带,土壤类型为潮土,灌溉后表层结皮严重,影响种子出苗,因此出苗前不可进行灌溉,若播种时土壤含水率较低,可在播种前 3 d 灌溉造墒。出苗后保证苗期薄水灌溉,分蘖前期间歇灌溉,分蘖中后期晒田,孕穗与抽穗期灌水保持 10 cm 水层,灌浆期干湿交替灌溉,收获前 10 d 晒田。对照田采用传统的灌溉方式进行^[10,18-19]。

1.3.4 施肥

施肥主要包括基肥、追肥,免耕旱直播播种时深施长效缓控肥 600 kg/hm² (N:P:K=25:10:10),后期追施复合肥 300 kg/hm² (N:P:K=53:10:30),机械育苗插秧对照田在耕整地时施用同样的缓控肥 600 kg/hm²,后期追施同样的复合肥 300 kg/hm²。涛雒试验田在灌浆后期,叶面喷施 0.3%磷酸二氢钾 2 次,即施磷酸二氢钾 2.25 kg/hm²,兑水 750 kg/hm²;高青试验田在灌浆后期,叶面喷施 3 次^[18-19]。

1.3.5 杂草控制

与机械育苗移栽或耕后直播相比,免耕旱直播的水稻田杂草更难控制,能否有效控制杂草是决定该技术成败的关键。参照参考文献[10],在水稻生长至 2-3 片叶时用稻杰 (penoxsulam.五氟磺草胺[3-(2,2-二氟乙氧基)-N-(5,8 二甲氧基-[1,2,4]) 三唑并[1,5-C]嘧啶-2-a.a.a-三氟甲基-2-2 磺酰胺])。每 666.7 m²用浓度为 25 g/L 的油悬浮剂 40~80 mL,兑水 20 kg 喷雾。用药前排干田内水或使杂草茎叶露出水面 2/3 以上即可,施药后 24~72 h 内灌水。机械育苗插秧对照田在插秧后 5~7 d 施药^[10]。

1.3.6 测定的项目与方法

1) 出苗情况:水稻植株分蘖前进行查苗,随机选取 5 个长度为 1 m 的 2 行水稻进行统计并标记,测定基本苗数;随机选取 20 个点,人工扒开土层,测定播种深度;随机选取长度为 10 cm 的 20 个点,测量苗带宽度。

$$\text{基本苗数} = \frac{\text{平均每行的苗数}}{\text{行距}} \times 10^4。$$

2) 植株生长情况:植株生长情况主要测试株高,用卷尺在水稻生长期每 7 d 测量一次,采用 5 点采样法,每点选取 10 株,并进行标记^[20-22]。

3) 分蘖情况:在水稻生长至 5 片叶开始每隔 7 d 测量基本苗数和总分蘖数,随机选取 5 个长度为 1 m 的 2 行水稻进行统计并标记^[20-22];分蘖开始前、峰值时和分蘖结束后分别随机选取长度为 20 cm 的 10 个点,将苗带宽度均分为 5 段,测定每段区域内苗的数量,绘制数量分布曲线。

$$\text{单株有效分蘖数} = \frac{\text{总茎蘖数} - \text{主茎数}}{\text{主茎数}}。$$

有效分蘖率= $\frac{\text{总茎蘖数}-\text{主茎数}}{\text{总茎蘖数}}$ 。

4) 产量及产量构成因素: 收获前选取 3 点, 每点选取长度为 1 m 的水稻, 测定总穗数、有效穗数、穗长、每穗粒数, 烤种后测定千粒质量。

1.3.7 数据处理与统计分析方法

试验数据采用 EXCEL 表格进行计算和统计, 使用 MINITAB 软件进行绘图和方差分析。

表 2 出苗情况调查
Table 2 Research of seeding emergence

试验地点 Testing place	水稻品种 Rice variety	单位面积 基本苗数 No. of basic plants/ (10 ⁶ 株·hm ⁻²)	平均播深 Average planting depth			平均苗带宽度 Average seeding width		
			实测值 Measured value/cm	合格率 Percent of pass/%	变异系数 Variable coefficient/%	实测值 Measured value/cm	合格率 Percent of pass /%	变异系数 Variable coefficient/%
涛雒 Taoluo	临早 1 号	3.76	2.2	91.52	4.72	13.56	92.28	4.86
高青 Gaoqing	圣稻 19	3.40	3.0	92.47	4.33	13.82	94.25	3.82

2.2 不同种植方式对水稻株高的影响

图 1 为不同种植方式对水稻株高的影响。由图 1 可知, 涛雒试验田在 7 月 28 日之前, 免耕旱直播处理的株高低于机械育苗插秧对照, 但植株的生长速度高于插秧对照, 之后, 两者的株高非常接近; 高青试验田 6 月 18 日之前, 免耕旱直播的株高低于插秧对照, 生长速度高于插秧对照, 之后, 两者株高基本接近。涛雒试验田和高青试验田两试验区都出现这个现象的原因是机械育苗插秧对照处理在插秧时株高已经达到 15~18 cm, 因此前期株高较高, 但是秧苗移栽后对新环境有一定的适应过程, 要进行缓苗, 在缓苗期内, 秧苗生长缓慢; 而免耕旱直播水稻无移栽过程, 也就不存在缓苗期^[10], 因此植株生长能力强, 生长速度快。

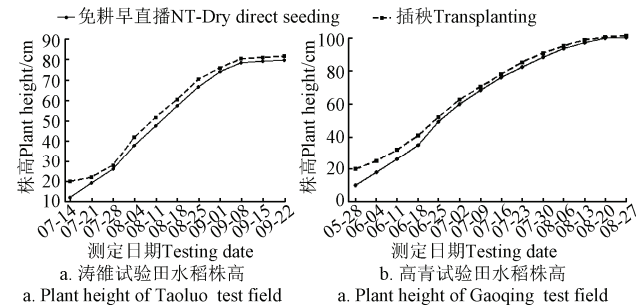


图 1 不同种植方式对水稻株高的影响
Fig.1 Effect of different planting methods on rice height

到收获时, 涛雒免耕旱直播试验田水稻平均株高 80 cm, 对照田平均株高 80.47cm, 差异不显著 ($t=-0.90$, $P=0.382$); 高青免耕旱直播试验田水稻平均株高 101 cm, 对照田平均株高 101.13cm, 差异不显著 ($t=-0.24$, $P=0.815$)。

两试验区对比, 涛雒试验田水稻株高与插秧对照基本相同是在 7 月 28 日 (插秧后两周), 而高青试验田水稻株高与插秧对照基本相同是在 6 月 18 日 (插秧后三周), 涛雒试验田插秧对照处理株高与插秧对照处理株高基本相同所用时间比高青试验田短, 可能是因为涛雒

2 试验结果与分析

2.1 出苗情况

表 2 为出苗情况调查表。表 2 显示两试验区基本苗数分别为 3.76×10^6 和 3.4×10^6 株/hm², 平均播深分别为 2.2 和 3.0 cm, 两试验区平均播种深度不一致的原因是土质条件及灌溉要求不同, 为保证出苗, 播种机作业时播种深度进行了不同的调整, 使其均满足当地农艺要求; 平均苗带宽度分别为 13.56 和 13.82 cm, 满足设计要求。

试验田水稻播种深度较高青试验田浅, 出苗早, 再加上涛雒试验田土质条件较高青试验田要好, 所以免耕旱直播的水稻植株生长较快。

2.3 不同种植方式对水稻分蘖的影响

图 2 为不同种植方式对水稻分蘖动态的影响。图 2 显示涛雒免耕旱直播试验田在 8 月 3 日左右达到分蘖高峰期, 总茎蘖数峰值为 862, 但是达到峰值后, 有部分分蘖并没有形成有效分蘖, 而是干枯。到 8 月 17 日左右有效苗数基本确定, 测定区域得到的总茎蘖数为 498, 主茎数为 215, 计算可得单株平均有效分蘖数为 1.32, 有效分蘖率 57%; 对照田在 8 月 17 日左右达到分蘖峰值, 测定区域茎蘖峰值为 255, 8 月 24 日左右有效苗数基本确定, 测定区域得到的总茎蘖数为 162, 测定区域平均有 16.7 穴, 每穴 3 株, 可得单株平均分蘖数为 2.2, 有效分蘖率为 63.5%, 比免耕旱直播高 6.5%。

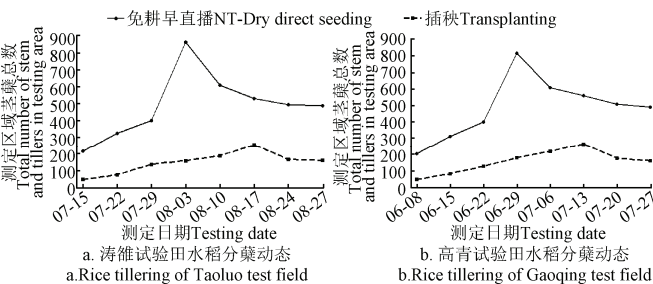


图 2 不同种植方式对水稻分蘖动态的影响
Fig.2 Effect of different palnting methods on rice tillering

高青免耕旱直播试验田在 6 月 29 日左右达到分蘖高峰期, 测定区域总茎蘖峰值为 816, 到 7 月 13 日左右有效苗数基本确定, 最后测定区域得到的总茎蘖数为 490, 测定区域主茎数为 204, 可得单株平均有效分蘖数为 1.4, 有效分蘖率为 58%; 对照田在 7 月 13 日左右达到峰值, 测定区域总茎蘖峰值为 266, 7 月 20 日有效苗数基本确定, 最后测定区域得到的总茎蘖数为 182, 可得单株平均分蘖数为 2.6, 有效分蘖率为 68.4%, 比免耕旱直播高 10.4%。

图 3 为免耕旱直播苗带上苗分蘖数量的分布情况,

表 3 为免耕旱直播不同苗带宽度上苗分布情况。由图 3 可知,同一苗带长度,不同苗带宽度上水稻基本苗差异不显著,但最大分蘖数和有效分蘖数差异显著($P<0.05$)。苗带两侧苗的分蘖数量显著高于苗带中部,最后得到的有效苗数也较多。可能是因苗带宽度对苗的分蘖情况产生影响,苗带两侧由于边行优势,通风透光条件较苗带中部要好。

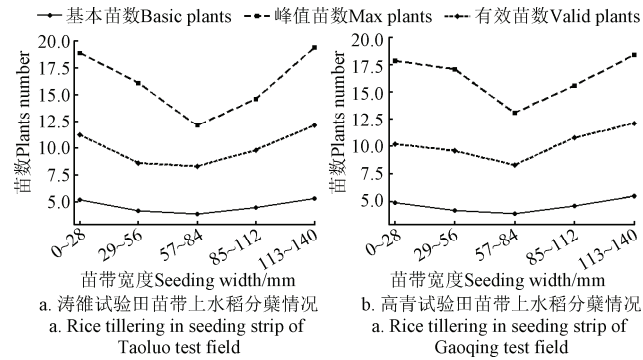


图 3 免耕旱直播苗带上水稻分蘖情况
Fig.3 Rice tillering in seeding strip of NT-Dry direct seeding

比较免耕旱直播和机械育苗插秧可知,种植方式对水稻分蘖动态产生影响。免耕旱直播水稻生长前期分蘖速度较快,分蘖期短,插秧对照田在生长前期分蘖速度较慢,分蘖期较长;免耕旱直播单株平均分蘖数明显小于插秧对照,有效分蘖率也较对照低。从密度分析,涛雒免耕旱直播的基本苗数为 3.76×10^6 株/hm²,对照为 8.52×10^5 株/hm²;高青免耕旱直播基本苗数为 3.4×10^6 株/hm²,对照为 8.3×10^5 株/hm²。两试验区免耕直播的基本苗密度均是插秧的 4 倍多。说明免耕直播水稻分蘖期短、单株平均分蘖数小以及有效分蘖率低的主要原因可能是免耕旱直播基本苗数多,秧苗密度大,使得通风透光条件差,从而

影响了水稻的有效分蘖^[21-24]。从苗带上苗的分蘖情况分析,苗带宽度对水稻分蘖有影响,苗带较宽,使得苗带中间通风透光条件差,从而影响有效分蘖。

表 3 免耕旱直播不同苗带宽度上苗分布情况
Table 3 Number of plants in different seeding width of NT-Dry direct sowing

苗带宽度 Seeding width/cm	涛雒 Taoluo			高青 Gaoqing		
	基本苗数 No.of basic plants	峰值苗数 No.of max plants	有效苗数 No.of valid plants	基本苗数 No.of basic plants	峰值苗数 No.of max plants	有效苗数 No.of valid plants
0~28	5.2a	18.9a	11.2a	4.9a	17.9a	10.2a
29~56	4.2a	16.1a	8.6b	4.2a	17.1a	9.6a
57~84	3.9a	12.1b	8.3b	3.9a	13.1b	8.3a
85~112	4.5a	14.6b	9.8b	4.6a	15.6b	10.8a
113~140	5.3a	19.4a	12.1a	5.5a	18.1a	12.1b

注:不同小写字母表示差异显著, $P<0.05$,下同。
Note: Different lowercase letters mean significant difference, $P<0.05$, the same below..

2.4 不同种植方式对水稻产量及产量构成要素的影响
表 4 为不同种植方式对水稻产量以及产量构成要素的影响。由表 4 可知,免耕旱直播条件下,涛雒试验田和高青试验田的有效穗数分别为 4.22×10^6 和 4.06×10^6 /hm²,显著高于对照的 3.81×10^6 和 3.6×10^6 /hm² ($P<0.05$),是因为虽然免耕旱直播分蘖率较插秧低,但播种量大、基本苗多,最终得到的有效苗也多。免耕旱直播条件下,两试验田的平均穗粒数分别为 90 和 124 粒,显著低于对照的 98 和 133 粒,同时穗长、结实率、千粒质量都比对照低,但差异不显著,可能是因为免耕旱直播的生长期短所致^[9]。分析两试验田最终的水稻实际产量,免耕旱直播条件下,分别是 8 970 和 10 020 kg/hm²,与对照田的 9 020 和 10 050 kg/hm² 差异不显著 ($P<0.05$),主要原因可能是免耕旱直播的有效穗数多,从而保证了产量^[10,25]。

表 4 不同种植方式对水稻产量以及产量构成要素的影响
Table 4 Effect of different planting methods on rice yield and yield components

试验地点 Testing place	水稻品种 Rice variety	处理 Treatment	有效穗数 No.of valid panicles/ (10 ⁶ .hm ⁻²)	穗长 Panicle length/cm	穗粒数 No.of grains per panicle	结实率 Seeding setting rate/%	千粒质量 1000-grains weight/g	理论产量 Theoretical yield/ (kg·hm ⁻²)	实际产量 Actual yield/ (kg·hm ⁻²)
涛雒 Taoluo	临早 1 号	免耕旱直播	4.22a	13.2a	90a	93a	26.5a	9 360a	8 970a
		机械育苗插秧	3.81b	13.9a	98b	96a	27.3a	9 785a	9 020a
高青 Gaoqing	圣稻 19	免耕旱直播	4.06a	13.9a	124a	94.7a	26.5a	12 634a	10 020a
		机械育苗插秧	3.60b	14.8a	133b	97.0a	27.4a	12 725a	10 050a

3 免耕旱直播经济性分析

以涛雒稻麦轮作两熟区免耕旱直播和高青春季稻一熟区免耕旱直播为例分析。

3.1 涛雒稻麦轮作两熟区免耕旱直播成本

麦稻轮作区机械插秧对照田在插秧前要进行秸秆还田和土地耕整,还要进行秧苗培育,插秧时要进行起秧运秧,工序复杂,占用劳动力多,费用共计 6 545 元/hm²;免耕旱直播不需要秸秆处理和土地耕整,播种环节使用

2BDMM-8 型稻麦宽苗带播种机,种肥同施,共计费用 4 073 元/hm²。

3.2 高青春季稻一熟区免耕旱直播成本

春季稻一熟区机械插秧对照田不需要秸秆处理,在冬季要进行深耕,总成本为 7 178 元/hm²;免耕旱直播播种环节共计费用 3 866 元/hm²。表 5 为不同种植方式水稻生产成本的对比。由表 5 可知,稻麦轮作两熟区,免耕旱直播比传统机械育苗插秧节约成本 2 472 元/hm²;春季稻一熟区,免耕旱直播比传统机械育苗插秧节约成本 3 312 元/hm²。

表 5 两试验区不同种植方式水稻生产成本对比
Table 5 Contrast of results of rice production cost of different ways of planting in two test fields

元·hm⁻²

试验地点 Testing place	处理 Treatment	秸秆还田 Straw returning	耕地 Cultivation	旋耕 Rotary cultivation	播种 Seeding	育苗 Seeding raising	插秧 Transplanting	种子 Seed	化肥 Fertilizer	合计 Total
涛雒 Taoluo	免耕旱直播	0	0	0	405	0	0	1 200	2 468	4 073
	机械育苗插秧	600	0	1 200	0	1 047	780	450	2 468	6 545
	差值	-600	0	-1 200	405	-1 047	-780	750	0	-2 472
高青 Gaoqing	免耕旱直播	0	0	0	405	0	0	960	2501	3 866
	育苗插秧	0	1 200	1 200	0	1047	780	450	2501	7 178
	差值	0	-1 200	-1 200	405	-1 047	-780	510	0	-3 312

注：表中的播种仅指播种环节的人工费，不包括播种环节所用的种子和化肥。
Note: Seeding cost in table means only artificial cost, not including cost of seeds and fertilizers.

4 讨 论

本研究仅对常规稻品种进行了试验，常规稻是粳稻，耐寒性好，在山东普遍种植，但杂交稻是籼稻，耐寒性差，且生长期较长，在山东地区很少种植，对于免耕旱直播是否适合杂交稻，还有待进一步验证。杂草、病虫害、倒伏等是水稻直播的主要难题，对于杂草、病虫害的防制，常规稻和杂交稻只要按照栽培要求，应该容易解决。对于倒伏问题，由于本研究中免耕旱直播是宽苗带直播，种植密度大、杂交稻穗大粒多，宽苗带直播是否能够抗倒伏，也有待进一步验证。

本研究中苗带宽度对水稻分蘖情况也有影响，设计播种机时要充分考虑不同水稻品种的播种要求，合理设计播种口的宽度。但具体多宽的苗带最有利于水稻生长，可能与水稻品种有关系，还有待进一步试验。

5 结 论

与机械育苗插秧相比，免耕旱直播不存在机械育苗插秧中的缓苗过程，因此水稻生育前期生长速度较快，但后期株高基本无差异；由于免耕旱直播的种植密度是机械育苗插秧的 4 倍多，导致水稻分蘖期短、单株平均分蘖数小以及有效分蘖率低，两试验区免耕旱直播的有效分蘖率分别为 57%和 58%，比对照低 6.5%和 10.4%。涛雒和高青两试验田的平均穗粒数显著低于对照，穗长、结实率、千粒质量都比机械育苗插秧对照低，差异不显著，但有效穗数显著高于对照，从而保证了产量与对照无显著差异 ($P<0.05$)，分别是 8 970 和 10 020 kg/hm²。

对比免耕旱直播与插秧的成本，由于免耕旱直播一次完成灭茬、整地、播种、施肥等作业，节省了土地耕整和育苗插秧等环节的成本，通过成本比较，两试验区免耕旱直播的成本比对照分别低 2 472 和 3 312 元/hm²。在山东稻麦轮作两熟区以及春季稻一熟区进行的水稻免耕旱直播试验初步成功，验证水稻免耕旱直播在山东常规稻种植地区基本可行。

参 考 文 献

[1] Xu Junzeng, Liao Linxian, Tan Junyi, et al. Ammonia volatilization in gemmiparous and early seedling stages from

direct seeding rice fields with different nitrogen management strategies: A pots experiment[J]. Soil and Tillage Research, 2013(126): 169—176.

[2] Farooq M, Siddique K H M, Rehman H, et al. Rice direct seeding: Experiences, challenges and opportunities[J]. Soil and Tillage Research, 2011(111): 87—98.

[3] 申承均, 韩修海, 于磊. 国内外水稻种植机械化技术的现状与发展趋势[J]. 农机化研究, 2010, 12(12): 240—243. Shen Chengjun, Han Xiuhai, Yu Lei. The situation and development trend of rice cultivation mechanization technology in domestic[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2010, 12(12): 240—243. (in Chinese with English abstract)

[4] 程建平, 吴建平, 罗锡文, 等. 不同种植方式对早稻生长发育特性及产量的影响[J]. 湖北农业科学, 2011, 50(3): 457—460. Cheng Jianping, Wu Jianping, Luo Xiwen, et al. Influence of different planting methods on growth characteristics and yield of early rice[J]. Hubei Agricultural Sciences, 2011, 50(3): 457—460. (in Chinese with English abstract)

[5] Mussavi S H, Alamisaieid K H, Fathi G H, et al. Optimum rice density and herbicide application in direct seeding in Ahwaz region, Iran[J]. Asian Journal of Crop Science, 2009(1): 58—62.

[6] 吴修, 杨连群, 陈峰, 等. 山东省水稻生产现状及发展对策[J]. 山东农业科学, 2013, 45(5): 119—125. Wu Xiu, Yang Lianqun, Chen Feng, et al. Development situation and countermeasures of rice in Shandong province[J]. Shandong Agricultural Sciences, 2013, 45(5): 119—125. (in Chinese with English abstract)

[7] 杨百战, 杨连群, 杨英民. 山东水稻生产发展优势、存在问题及对策[J]. 中国稻米, 2006(3): 53—54. Yang Baizhan, Yang Lianqun, Yang Yingmin. Development advantage, problems and countermeasures of rice in Shandong province[J]. Chinese Rice, 2006(3): 53—54. (in Chinese with English abstract)

[8] 罗锡文, 李锡炼, 刘涛. 水稻机械直播的现状与发展前景[C]//中国农业工程学会 2005 年学术年会论文集, 2005: 194—196. Luo Xiwen, Li Xidong, Liu Tao. The present status and foreground on the paddy mechanical direct seeding[C]// Chinese Society of Agricultural Engineering, 2005: 194—196. (in Chinese with English abstract)

- [9] 苏柏元, 陈惠哲, 朱德峰. 水稻直播栽培技术发展现状及对策[J]. 农业科技通讯, 2014(1): 7—11.
Su Baiyuan, Chen Huizhe, Zhu Defeng. The present status and countermeasures of rice direct seeding[J]. Agricultural Science and Technology Communication, 2014(1): 7—11. (in Chinese with English abstract)
- [10] 辛明金, 任文涛, 宋玉秋, 等. 旱直播对水稻生长及产量影响[J]. 沈阳农业大学学报, 2014, 45(2): 175—179.
Xin Mingjin, Ren Wentao, Song Yuqiu, et al. Effect of rice direct seeding on growth and yield[J]. Journal of Shenyang Agricultural University, 2014, 45(2): 175—179. (in Chinese with English abstract)
- [11] 张中华. 不同播种量和品种直播研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2010.
Zhang Zhonghua. A Study of Rice Direct Seeding under Sowing Rate and Different Rice Cultivars[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2010. (in Chinese with English abstract)
- [12] 李刚, 顾春军. 不同播种方式对水稻产量的影响[J]. 现代农业科技, 2012(16): 30—33.
Li Gang, Gu Chunjun. Effects of different planting methods on rice yield[J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2012(16): 30—33. (in Chinese with English abstract)
- [13] 张洪程. 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: 1—15.
- [14] 王在满, 罗锡文, 唐湘如, 等. 基于农机与农艺相结合的水稻精量穴直播技术及机具[J]. 华南农业大学学报, 2010, 31(1): 91—95.
Wang Zaiman, Luo Xiwen, Tang Xiangru, et al. Precision rice hill-direct-seeding technology and machine based on the combination of agricultural machinery and agronomic technology[J]. Journal of South China Agricultural University, 2010, 31(1): 91—95. (in Chinese with English abstract)
- [15] 申蒙. 日照市东港区土壤养分、pH 状况调查分析[J]. 中国园艺文摘, 2011(2): 23—24.
Shen Meng. Survey and analysis of soil nutrients and pH of cultivated land in Donggang District, Rizhao City, Shandong Province[J]. Chinese Horticulture Abstracts, 2011(2): 23—24. (in Chinese with English abstract)
- [16] 史晓晗. 日照市农用地利用时空变化驱动力研究[D]. 济宁: 曲阜师范大学, 2014: 13—15.
Shi Xiaohan. Study on the agricultural Land Use Spatio-temporal Change and Driving Factor's in Rizhao City[D]. Jining: Qufu Normal University, 2014: 13—15. (in Chinese with English abstract)
- [17] 百度文库. 山东省各地土壤类型及其分布[R/OL]. (2010-11-14) [2016-04-10]. <http://wenku.baidu.com/view/727af4fc700abb68a982fb7c.html>.
- [18] 马宗国, 刘丽娟, 刘延刚, 等. 旱稻新品种临旱 1 号的配套栽培技术[J]. 中国种业, 2011(1): 60—61.
Ma Zongguo, Liu Lijuan, Liu Yangang, et al. Complete cultivating techniques of new type rice Linhan 1[J]. China Seed Industry, 2011(1): 60—61. (in Chinese with English abstract)
- [19] 陈峰, 徐建第, 朱文银, 等. 水稻新品种圣稻 19 的选育及栽培技术要点[J]. 山东农业科学, 2013, 45(12): 93—94.
Chen Feng, Xu Jiandi, Zhu Wenyin, et al. Breeding and cultivation technique key points of a new type rice of Shengdao19[J]. Shandong Agricultural Sciences, 2013, 45(12): 93—94. (in Chinese with English abstract)
- [20] 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, 2011, 50(3): 457—460.
Cheng Jianping, Luo Xiwen, Fan Qizhou, et al. Influence of different planting methods on growth characteristics and yield of rice[J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2011, 50(3): 457—460. (in Chinese with English abstract)
- [21] 潘圣刚, 莫钊文, 罗锡文, 等. 机械同步深施肥对水稻群体质量及产量的影响[J]. 华中农业大学学报, 2013, 32(2): 1—5.
Pan Shenggang, Mo Zhaowen, Luo Xiwen, et al. Effects of deeply mechanized fertilizer application on the quality and grain yield of direct seeding rice[J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2013, 32(2): 1—5. (in Chinese with English abstract)
- [22] 舒时富, 唐湘如, 罗锡文, 等. 机械深施缓释肥对精量穴直播超级稻生理特性的影响[J]. 农业工程学报, 2011, 27(3): 89—92.
Shu Shifu, Tang Xiangru, Luo Xiwen, et al. Effects of deep mechanized application of slow-release fertilizers on physiological characteristics of precision hill-direct-seeding super rice[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering(Transactions of the CSAE), 2011, 27(3): 89—92. (in Chinese with English abstract)
- [23] 孙国峰, 陈阜, 肖小平, 等. 轮耕对土壤物理性状及水稻产量影响的初步研究[J]. 农业工程学报, 2007, 23(12): 109—113.
Sun Guofeng, Chen Fu, Xiao Xiaoping, et al. Preliminary study on effects of rotational tillage on soil physical properties and rice yield[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering(Transactions of the CSAE), 2007, 23(12): 109—113. (in Chinese with English abstract)
- [24] 郑天翔, 唐湘如, 罗锡文, 等. 节水灌溉对精量穴直播水稻产量形成的影响[J]. 灌溉排水学报, 2009, 28(5): 99—101.
Zhen Tianxiang, Tang Xiangru, Luo Xiwen, et al. Effect of water-saving irrigation on the yield formation of precision hill-direct-seeding rice journal of irrigation and drainage[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2009, 28(5): 99—101. (in Chinese with English abstract)
- [25] 钱生越, 叶平, 石蕾. 论南京市水稻机直播技术应用的可行性及建议[J]. 中国农机化, 2008, 24(3): 74—78.
Qian Shengyue, Ye Ping, Shi Lei, et al. Feasibility and suggestion about the application of rice direct seeding technology in Nanjing[J]. Chinese Agricultural Mechanization, 2008, 24(3): 74—78. (in Chinese with English abstract)

Experiment of no-tillage and drought direct sowing rice and feasibility analysis in Shandong Province

Zhang Yinping, Du Ruicheng^{*}, Diao Peisong, Yang Shandong

(College of Agricultural Engineering and Food Science, Shandong University of Technology, Zibo 255049, China)

Abstract: To study the adaptability of the rice planting pattern of no-tillage and drought direct sowing in Shandong Province, the experiments were carried out in 2 different places Taoluo and Gaoqing. Taoluo is the wheat-rice double cropping area and Gaoqing is the single cropping area. In these 2 areas, rice was planted by a planter with wide seedlings and stubble cleaning device, and at the same time, the mechanical transplanting was used for the comparison. In the process of experiments, the influences of different patterns on the rice height and tillering situation were analyzed, and the rice yield and its components were compared to the mechanical transplanting as well. In addition, the costs of different patterns were compared. The result showed that the rice growth period of no-tillage and drought direct sowing was shorter than mechanical transplanting, but the growing speed was higher. At the early stage of rice growth period, the rice height of no-tillage and drought direct sowing was lower than mechanical transplanting and had significant difference, but no difference existed in the late stage. The rice tillering rates of no-tillage and drought direct sowing were respectively 57% and 58% in Taoluo and Gaoqing, 6.5% and 10.4% lower than mechanical transplanting, respectively. The yields in Taoluo and Gaoqing were respectively 8 970 and 10 020 kg/hm² under the no-tillage and drought direct sowing, 50 and 30 kg/hm² lower than mechanical transplanting respectively, but there was no significant difference between them. In the components of yield, the panicle length, seed setting rate, grain number per panicle and one thousand grain weight were lower than mechanical transplanting, but had no significant difference except grain number per panicle. The number of valid panicles was much more than mechanical transplanting, which guaranteed yield, and had significant difference ($P<0.05$). Through the comparison, the cost of no-tillage and drought direct sowing was 2 427 and 3 312 yuan/hm² lower than mechanical transplanting in Taoluo and Gaoqing respectively, and significant difference existed between the 2 different planting patterns. In Taoluo, 2 kinds of crops are planted in a year, and the straw of preceding crop must be returned to the soil and rotary cultivation must be carried out, which cost respectively about 600 and 1 200 yuan/hm². At the same time, the process of seeding raising and transplanting are complicated, it costs 1 497 and 780 yuan/hm² in the conventional pattern of transplanting. In Gaoqing, one crop is planted in a year, it costs 1 200 yuan/hm² for winter-cultivation, and costs as the same as Taoluo for seeding raising and transplanting. But all these mentioned did not be needed in the pattern of no-tillage and drought direct sowing, and the stubble-cleaning, cultivation, fertilization and planting were completed at one time, which made the rice planting much simpler. Through the experiment, it is proved that rice no-tillage and drought direct sowing is feasible in the conventional rice planting area of Shandong Province. If it is available for hybrid rice in Shandong Province remains to be further verified, but we can conclude that if the seeding time and rate are appropriate, it would be possible.

Keywords: crops; mechanization; experiments; rice; no-tillage; drought direct sowing; yield; costs