

油菜直播机犁式正位深施肥装置设计与性能试验

肖文立¹ 肖文芳¹ 廖宜涛^{1,2} 张青松¹ 魏国梁¹ 廖庆喜^{1,2}

1. 华中农业大学工学院/农业部长江中下游农业装备重点实验室, 武汉 430070;
2. 南方粮油作物协同创新中心, 长沙 410128

摘要 研制一种犁式正位深施肥装置,采用类铧式犁面开沟,施肥犁柱中间落肥,与油菜联合直播机旋耕装置相配合,可实现正位深施肥,提高肥料利用率。对类铧式犁面、施肥犁柱、犁侧板等结构进行设计,分析确定起土曲面与导土平面的结构参数,采用室内数字化土槽试验考察前进速度对施肥深度和施肥后沟深的影响。结果表明,在前进速度为 1.1、2.2、3.3 km/h 下,施肥深度合格率达到 95%,稳定性系数在 90.37%以上。将犁式施肥装置安装于油菜联合直播机的田间试验表明,犁式施肥装置田间施肥深度合格率为 94%,各行稳定性系数为 96.87%。对正位深施肥和带状混施的 2 种施肥方式下播种的油菜苗期根系和产量分析表明,用犁式施肥装置正位深施肥有利于油菜根系生长和产量提高。

关键词 油菜直播机; 类铧式犁面; 正位深施肥; 性能试验

中图分类号 S 222.3 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2018)04-0131-07

油菜是我国国产食用植物油第一大来源,种植面积和总产量均占世界的 30%左右^[1-2]。作为我国种植面积最大的油料作物,2015 年全国油菜播种面积达 754.3 万 hm²^[3]。长江中下游地区是播种冬油菜的主产区,在我国油菜生产中占主导地位^[4],其种植模式以稻油轮作为主。施肥是影响油菜产量的重要因素之一^[7]。合理施用化肥有利于油菜健壮生长,增加干物质和养分累积,促进分枝和角果发育而获得高产,是当前油菜高产的主要途径^[5-6]。我国油菜施肥方式以人工撒施或机播混施为主,随着农业机械化水平不断发展,油菜轻简化栽培技术逐渐成为农民喜爱的种植模式,机播油菜面积逐年增加。油菜精量联合直播机能一次完成开沟、灭茬、种床旋耕、同步施肥、精量播种、覆土等作业,省种、省肥、省工效益明显^[8-10]。但施肥方式主要是旋耕前厢面排肥,旋耕后肥料与土壤混合分布,属于厢面混施,存在施肥不集中、肥料利用率低等问题。肥料施到地表以下特定深度,与种子保持适当距离,肥料集中作用于根系,充分被作物吸收,能够促进作物生长,提高肥料利用率,从而达到减少污染、增产增效的目的^[11-14]。段永惠等^[15]研究表明,肥料深施或穴施比表施可显著降低土壤地表径流中氮磷流失量。方日尧等^[16]研究表明,深施肥能改善小麦生育条件,增强肥料利用率,麦株生长茁壮,促进小麦增产增收。战秀梅等^[17]研究表明,玉米一次性氮肥深施处理,产量比常规施肥增加 11.5%,比氮肥后移处理增加 7.3%。肥料深施技术与装置已成为播种机农机农艺融合的研究重点。

为同时满足作物不同生育期对养分的需求,姚万生等^[18]提出了种子、种肥、基肥三者分层定量一次性深施播。王廷双等^[19]设计的 2BJT-2 型通用精密播种机能同时实现侧位和正位深施肥料。曾山等^[20]设计的同步开沟起垄施肥水稻精量旱穴直播机采用锐角施肥沟开沟器实现了侧位深施肥,并验证其能增产增收。芦新春等^[21]设计的新型高效深施肥作业机通过仿形单体实现深施肥,达到各行肥料均匀、深度一致。以上深施肥技术的研究和应用主要集中于南方水田与北方旱地。长江中下游地区冬油菜播种属于稻油水旱轮作,土壤因种植水稻长期浸泡导致播种期土壤黏重板结,前茬秸秆量大,深施肥装置工作时候易出现土壤黏附、秸秆缠绕、堵塞壅土等问题,无法实现深施功能。为实现冬油菜播

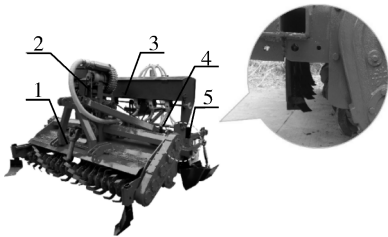
收稿日期: 2018-02-14
基金项目: 农业部公益性行业科研专项(201503118-06); 国家重点研发计划项目(2016YFD020060602); 国家油菜产业体系专项(CARS-12); 中央高校基本科研业务费专项(2662017PY006)
肖文立, 硕士, 助理工程师, 研究方向: 农业装备设计与测控。 E-mail: xiaowl@mail.hzau.edu.cn

种正位深施肥,本研究设计了一种适用于油菜直播机的犁式施肥装置,并比较分析了正位深施肥与带状混施对油菜根系和产量的影响,为油菜播种正位深施肥装置设计提供参考。

1 材料与方法

1.1 犁式施肥装置布局与工作原理

油菜直播机底部工作部件包括灭茬刀辊、带状旋耕刀辊、犁式施肥装置、旋耕装置拖板、开畦沟装置、双圆盘开沟器,直播机上部安装有排种系统、排肥系统,其中犁式施肥装置集成安装在油菜直播机旋耕装置刀片与旋耕装置拖板之间,结构布局如图 1 所示。



1.整地系统 Farming system; 2.排种系统 Seeding system; 3.一体式螺旋肥箱 Integral spiral fertilizer box; 4.犁式施肥装置 Plough-type fertilizer device; 5.开畦沟系统 Field drain system.

图 1 油菜直播机结构示意图

Fig.1 Structural diagram of rape seed direct seeder

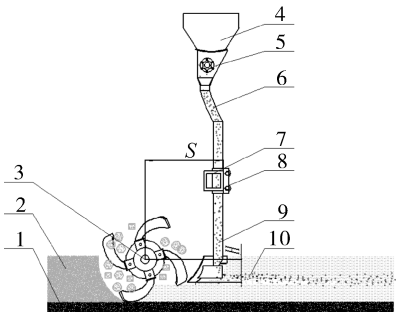
直播机作业时,灭茬刀辊进行作业全幅宽灭茬,带状旋耕刀辊在种床带进行旋耕细碎土壤,通过灭茬刀辊及带状旋耕刀辊清理地表秸秆残茬。犁式施肥装置处于种床带刀辊正后方,通过类铧式犁面开沟起土,之后肥料通过犁柱导入,落入肥沟内,旋耕装置拖板覆土平整。通过旋耕装置刀片、犁式施肥装置及旋耕装置拖板相互配合作用完成肥料正位深施。图 2 所示为犁式施肥装置安装与作业示意图。种肥位置关系如图 3 所示。肥料位于油菜种正下方。

1.2 犁式施肥装置结构设计与分析

1)犁式施肥装置结构。犁式施肥装置由类铧式犁面、施肥犁柱、犁侧板组合而成,其中类铧式犁面又分为起土曲面与导土平面。结构如图 4 所示。

2)类铧式犁犁面设计。犁式施肥装置的类铧式犁面为主要触土面,其起土开沟及导土效果影响着深施肥性能。类铧式犁面轮廓与铧式犁类似,其起土曲面设计可借鉴铧式犁的设计方法。不同点在于

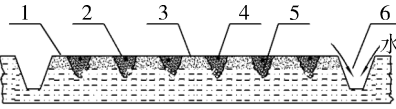
起土曲面犁翼较短,且上端有导土平面防止翻土。根据实际旋耕深度和农艺要求^[22],设计的犁式施肥装置拟施肥深度为 100 mm。



1.犁底层 Plough pan; 2.未耕地 Uncultivated land; 3.旋耕装置 Rotary tiller; 4.肥箱 Fertilizer box; 5.排肥器 Fertilizer feeder; 6.导肥管 Fertilizer pipe; 7.旋耕机后梁 Rotavator back rest; 8.挂接装置 Hitch; 9.犁式施肥装置 Plough-type fertilizer device; 10.肥料 Fertilizer; S 为旋耕刀轴与施肥犁柱距离; H 为设计施肥深度。S is range between rotor and fertilize plow standard, mm; H is design of fertilizer depth, mm.

图 2 犁式施肥装置安装与作业示意图

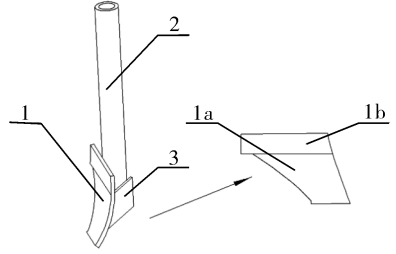
Fig.2 Installation and operation schematic of plough-type fertilizer device



1.厢面 Field surface; 2.种床带 Seed bed strip; 3.灭茬带 Stubble-chopping strip; 4.油菜种子 Rape; 5.肥料 Fertilizer; 6.梯形畦沟 Trapezoid furrow.

图 3 种肥位置示意图

Fig.3 Schematic diagram of between rape and fertilizer



1.类铧式犁面 Similar plough; 2.施肥犁柱 Fertilizer pole; 3.犁侧板 Plough landside; 1a.起土曲面 Break soil surface; 1b.导土平面 Guiding soil plane.

图 4 犁式施肥装置结构示意图

Fig.4 Structural of plough-type fertilizer device

①起土曲面导曲线。铧式犁关键设计要素为导曲线。犁式施肥装置在旋耕后的土壤中作业,适合采用圆柱型犁面,其导曲线为圆弧形。其形状与尺寸由以下参数确定:导曲线开度 L、高度 h、起土曲

面安装角度 ϵ 、切线夹角 ω 、始端线长度 S 。如图 5 所示:

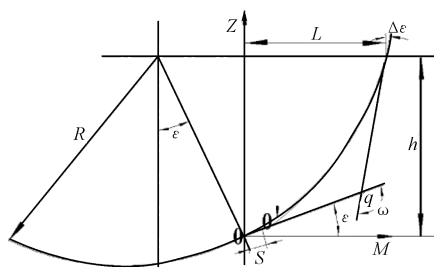


图 5 犁式施肥装置圆弧形导曲线

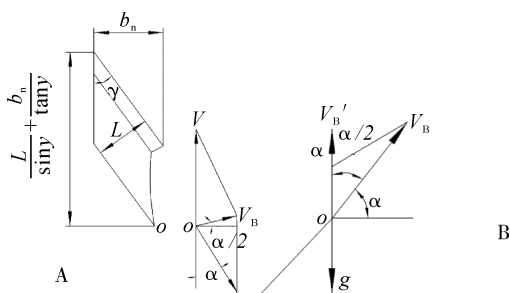
Fig.5 Guide curve of similar plough-type fertilizer device

导曲线高度 h 通常略小于犁体顶端高度 $H_{\max}$, 根据实际旋耕深度和农艺要求, 确定设计施肥深度为 100 mm, 取导曲线高度 $h = 100$ mm。作业过程中须避免翻土, 且便于土壤沿犁体曲面向后流动。 h 一定时, L 越大, 曲面越平坦, 土壤易通过。考虑前进夹角与犁柱直径, 取 $L = 80$ mm。犁铧安装角最小应保证犁铧固定螺栓不刮擦沟底, 类铧式犁面犁铧与犁面为一体, 根据安装需要, 取 $\epsilon = 20^\circ$ 。切线夹角 ω 由 ϵ 和 $\Delta\epsilon$ 确定, 从图 5 可看得, $\omega = 90^\circ + \epsilon + \Delta\epsilon$, $\Delta\epsilon$ 为上端点的切线与铅垂线的夹角, 为了有利于土壤通过且不发生翻转, 导曲线的上部尽量往外偏, 以保证土块顺利通过不产生翻转为准。此处取 $\Delta\epsilon = 10^\circ$ 。导曲线近似表示起土曲面曲率, 并用半径 R 的圆近似代表圆弧形导曲线。 L 为其开度。由图 5 可得:

$$L = R(1 - \sin\epsilon) \quad (1)$$

将根据经验选择的导曲线参数代入公式(1), 得出圆弧导曲线曲率半径 $R = 120$ mm。

②导土平面。作业过程中, 土壤顺着起土曲面流动, 经导土曲面导流落入肥沟。在土壤离开壁翼进入导土平面前受到来自起土曲面与其他土壤的压力。此过程中土壤在水平方向的受力对其往上流动影响较小。因此, 对土壤向上运动高度的影响主要来自铅垂方向速度。设定作业时, 施肥装置与拖拉机匀速前进, 两者在前进方向有相同的速度。土粒速度如图 6 所示, b_n 为犁体作业宽度; γ 为犁尖推土角; L 为导曲线开度; V 为土壤流过起土曲面的速度, 近似等于作业速度; V_B 为土壤离开起土曲面端点速度; V_B' 为土壤离开起土曲面端点时铅直向上的速度; α 为起土曲面翼端点推土角; a' 为土粒离开起土曲面时垂直方向加速度。



A: 土粒离开曲面速度分析 Velocity analysis of soil leaving the surface; B: 土粒离开曲面垂直加速度分析 Vertical acceleration analysis of soil leaving surface.

图 6 土粒速度分析

Fig.6 Analysis of soil particle velocity

由图 6A 可得出:

$$V_B = 2V \sin(\sigma/2) \quad (2)$$

$$V_B' = V_B \sin(\alpha/2) \quad (3)$$

即土粒离开起土曲面壁翼时垂直向上速度:

$$V_B' = 2V \left(\frac{\sin\alpha}{2} \right)^2 \quad (4)$$

由图 6B 可得出:

$$t = \left(\frac{L}{\sin\gamma} - \frac{b_n}{\sin\gamma} \right) \frac{1}{V} \quad (5)$$

$$\alpha = \frac{V_B'}{t} \quad (6)$$

$$H' = V_B' t' - \frac{1}{2} (g - \alpha) t'^2 \quad (7)$$

$$t' = \frac{V_B'}{g} \quad (8)$$

其中, t' 为土粒离开起土曲面壁翼上升时间; H' 为土粒离开起土曲面上升高度。取正常作业时施肥装置速度 $V = 0.3$ m/s, 代入数据后计算得出 $H' \approx 9$ mm。由旋耕后土壤颗粒直径分布^[23] 和 H' , 确定导土平面高度 $H_{\text{导}} = 30$ mm。

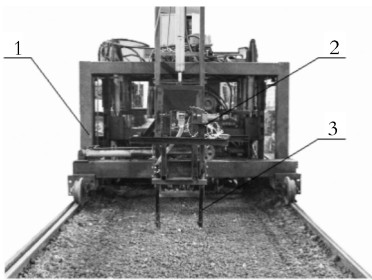
2 结果与分析

2.1 数字化土槽试验

开沟回土性能直接影响着播种机的施肥效果和播种质量。为研究犁式深施肥装置作业性能, 及对后续油菜播种的影响。提出施肥深度与欠回填沟深及两者稳定性作为试验指标。对不同作业速度下犁式施肥装置作业效果进行测试。试验在华中农业大学工科基地室内数字化土槽中进行。室内土槽长 40 m, 宽 2.5 m。土槽台车由 22 kW 的变频电动机通过钢丝绳牵引驱动, 在 0.3~10 km/h 范围内无极调速。犁式施肥装置安装在施肥机架上, 与台车连

接。试验前,使土壤在 0~150 mm 的含水率达到 20%左右,符合油菜适播期田间工况。为保证试验的可重复性,每次试验前对土槽内土壤进行旋耕、刮平、压实处理,为实现坚实度的一致,试验前在作业方向每隔 2 m 取一样点,使用 TJSD-750 型土壤坚实度仪进行测试,确保每次试验土壤坚实度一致。试验模拟田间作业实况,对整理后的土壤旋耕处理后,犁式施肥装置设定 1.1、2.2、3.3 km/h 3 种不同速度水平,100 mm 入土深度作业。测量 10 m 有效作业区域。每相隔 1 m 测定 1 次欠回填沟深与施肥深度,每组试验重复 3 次,取平均值。

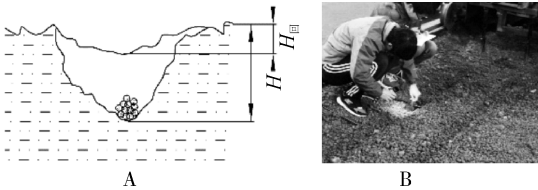
为更加直观准确地表述犁式施肥装置施肥性能,以施肥深度与欠回填沟深为作业评价指标。施



1.土槽台车 Soil-bin trolley; 2.施肥机构 Fertilization machine;
3.犁式施肥装置 Plough-type fertilizer device.

图 7 土槽试验
Fig.7 Soil bin test

肥深度为肥沟底部肥料到厢面距离,其体现施肥装置的深施肥效果。欠回填沟深以施肥后土壤回流形成的沟底为基准,测量沟底到厢面距离,其影响后续油菜播种,值越小越有利于后续油菜播种。欠回填沟深 $H_{\text{回}}$ 及施肥深度 H 见图 8。由表 1 可知,不同前进速度下,犁式施肥装置施肥深度均值均达到设计要求。由 NY/T 1003-2006 计算得出犁式施肥装置土槽试验施肥深度实际合格率为 95%,施肥深度稳定性良好,均在 90.37%以上。在未使用覆土装置情况下,回填沟深在 48.10~57.10 mm,稳定性系数在 88.85%以上。数据显示犁式施肥装置有利于土壤自行回流。作业后肥料覆盖性较好,但回填不足。厢面不平时,正位播种易出现种子积水,田间作业时需进一步借助辅助覆土来达到良好播种条件。试验过程中,犁式施肥装置落肥效果良好,施肥犁柱没有出现堵塞现象。



A:示意图 Schematic diagram; B:数据测量 Measure of data.
图 8 数字化土槽试验数据测量
Fig.8 Measure of soil bin test results

表 1 施肥深度与欠回填沟深测定

Table 1 Determination of depth of fertilization and ditch deep without backfill

作业速度/(km/h) Operating speed	施肥深度 Depth of fertilization			欠回填沟深 Ditch deep without backfill		
	平均值/mm Average	标准差/mm Standard deviation	稳定性系数/% Stability coefficient	平均值/mm Average	标准差/mm Standard deviation	稳定性系数/% Stability coefficient
1.1	106.30	8.59	91.92	48.10	5.26	89.07
2.2	118.90	11.45	90.37	55.80	7.69	88.85
3.3	116.90	9.72	91.68	57.10	6.35	88.88

2.2 田间试验

田间试验是为了验证犁式施肥装置田间深施肥效果与土槽试验是否一致,并与带状混施进行比较,对比 2 种施肥方式下油菜根系生长状况及油菜产量,以验证犁式施肥装置作业性能。试验于 2016 年 10 月 10 日在华中农业大学试验田进行(图 9)。试验田前茬作物为水稻,试验前对田间稻茬进行灭茬处理。参考施肥深度,测得地表下 0~50、50~100、100~150 mm 土壤坚实度分别为 1 614.40、1 696.00、2 121.20 kPa。0~200 mm 耕作层土壤含

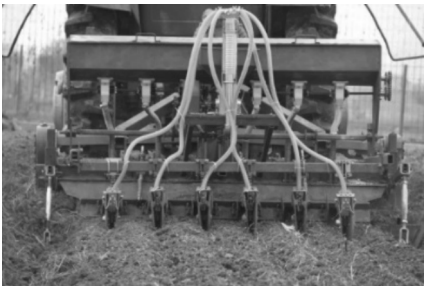
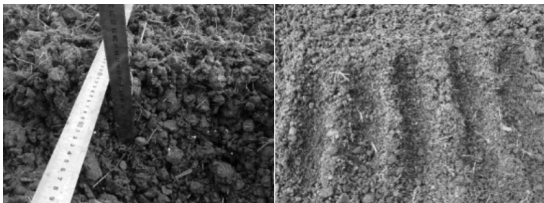


图 9 田间试验
Fig.9 Field experiment

水率平均值为 20.23%。根据播种油菜常用施肥量，试验施肥量设置为 30 kg/667 m²。试验用油菜直播机播种行数为 6 行。试验时东方红 954 拖拉机以慢Ⅱ挡牵引油菜直播机前进，完成油菜直播与深施肥作业，选取厢面中部有效区域为测量区域，每行选取 25 个测量点，每个测量点间隔 500 mm。单个测量点对施肥深度进行测量，并观察各行肥料分布宽度，试验重复 3 次(图 10)。

表 2 数据表明，各行施肥深度均符合设计施肥深度，由 NY/T 1003—2006 中正位深施肥深度合格率计算得出犁式施肥装置田间试验施肥深度合格率为 94%，大于标准规定值。各行整体稳定性系数为 96.87%。从施肥分布宽度数据中可以看出，肥料分布小于种床带深旋宽度(120 mm)，所有肥料均分布在种床带区域，满足设计要求。通过对施肥深度原始数据分析，大部分测试点肥料所处最大深度均大

于理论设计值，其主要原因在于肥料通过旋耕后的土壤间隙落到更深的土壤中。



A: 施肥深度 Depth of fertilization; B: 肥料宽度 Fertilization width.

图 10 田间试验参数测量

Fig.10 Parameters measurement of field test

2.3 不同施肥方式对油菜根系和产量影响

1)不同施肥方式对油菜根系的影响。根系生长状况影响着油菜吸收养分和水分，而且决定着油菜的抗倒伏能力，发达的主根系能够降低油菜倒伏导

表 2 田间试验时犁式施肥装置作业质量

Table 2 Working quality of plough fertilizer plant during field test

测量参数 Measurement parameters	次 Times	行 Row						行平均值 Average of row	标准差 Standard deviation	稳定性系数/% Stability coefficient
		1	2	3	4	5	6			
施肥深度/mm Depth of fertilization	1	114.44	113.64	119.84	113.24	116.92	106.24	111.31	3.49	96.87
	2	108.60	109.76	110.40	110.52	110.64	107.28			
	3	109.52	111.68	111.60	111.32	111.80	106.20			
单行施肥宽度/mm Single-line fertilization width	1	115.19	100.26	110.14	109.45	104.83	116.94	110.47	5.18	95.31
	2	110.21	106.20	106.42	111.72	112.46	119.47			
	3	106.42	105.54	112.22	107.63	115.10	118.19			

致减产的概率^[24]。2016 年油菜播种期，在施肥总量相同的前提下，在同一试验田 2 片区域分别采用正位深施肥和带状混施播种油菜。油菜品种为华油杂 62。油菜根系分析试验于油菜苗期进行，分别从 2 片区域随机选取 50 株生长高度相近的油菜苗，剪下根部并清洗拍照。用万深 LA-S 系列植物根系分析系统对油菜根系进行分析(图 11)。



图 11 油菜根系分析

Fig.11 Analysis of rape roots

通过仪器分析得到 2 种不同施肥方式下油菜苗期根系相关参数(表 3)。由表 3 可知，施肥量相同

时，相比带状混施，正位深施肥有利于油菜根系生长。试验样品表现出正位深施肥下油菜根系总根长、主根长度、主根占比都比采用带状混施要高，且 2 种施肥方式下测量参数变异系数相差明显。正位深施肥方式下各参数变异系数均比混合施肥小。数据结果显示两者总根长标准均较大，在于根系总长包含了细小根系，从而导致根系总长值分布范围较广。综上分析，施肥方式不同对油菜根系生长有较大影响。在施肥量一定的情况下，正位深施肥方式优于带状混施。

2)不同施肥方式对油菜产量的影响。2017 年 5 月油菜收获期，在不同的施肥方式播种的 2 块油菜试验田采用取样测产法进行测产试验。测定了 2 种施肥方式下油菜籽千粒重和 1 hm² 试验田油菜籽产量。试验采用 5 点取样法取样，每个样点面积为 1 m²，割取每个采样点油菜冠层装袋后带回晒干、脱粒并称质量，记录平均每平方米油菜籽质量。

由实际作业厢面和畦沟宽度计算出有效种植面积系数^[25]。根据公式(9)计算出产量结果。

油菜产量=每平方米油菜籽质量×
10 000×有效种植面积系数

(9)

由表 4 可知,在千粒重与每平方米油菜籽质量方面,采用正位深施肥的试验田均高于采用带状混施的试验田。相对带状混施,正位深施肥下每公顷油菜产量增产 7.16%。

表 3 不同施肥方式对油菜根系影响

Table 3 Effects on rape root under different fertilization modes

根系性状 Root traits	正位深施肥 Vertically deep fertilization			带状混施 Drilling ditch deep		
	平均值 Average	标准差 Standard deviation	变异系数/% Stability coefficient	平均值 Average	标准差 Standard deviation	变异系数/% Stability coefficient
总根长/mm Total root length	1 178.87	176.69	15	1 066.46	195.08	18
主根长度/mm Main root length	156.08	17.07	11	113.14	16.56	15
主根占比/% Ratio of main root in total root	13.42	1.79	13	10.81	1.78	17

表 4 不同施肥方式对油菜产量影响

Table 4 Analysis of rape yield under different fertilization modes

测量参数 Measurement parameters	正位深施肥 Normotopia deep fertilization	带状混施 Mixed fertilization
千粒重/g Thousand seed weight	2.870	2.861
油菜籽质量/(kg/m ²) Average seeds weight	0.267 5	0.235 5
有效种植面积系数 Effective planting index	0.83	0.88
测量产量/kg Estimated yield	2 220.833	2 072.417

3 讨 论

为实现油菜播种正位深施肥,提高肥料利用率的目的,设计了一种犁式施肥装置。数字化土槽试验表明不同前进速度下,在入土深度为 100 mm 时,犁式施肥装置施肥深度均值满足设计施肥深度,稳定性系数均在 90% 以上。试验过程中施肥犁柱落肥效果良好。田间试验表明犁式施肥装置施肥深度合格率为 94%,满足中华人民共和国农业行业标准“NY/T 1003—2006 施肥机械质量评价技术规范”正位深施肥深度要求。不同施肥方式下油菜根系分析显示,正位深施肥方式下油菜根系总长与主根长度均值都比带状混施高。且主根长占根系总长比例方面,正位深施肥(13.16%)优于带状混施(10.41%)。田间测产得出,正位深施肥较带状混施油菜产量提高了 7.16%。田间试验对比正位深施肥和带状混施肥的作业质量及对油菜播种后根系影响,表明在该田间工况下作业,正位深施肥作业效果较优。由于实际田间作业工况的复杂性,后续拟在不同土壤质地及地表秸秆残茬量地表开展作业,研究犁式施肥装置的作业质量及作业适应性。

参 考 文 献

[1] 王汉中,殷艳.我国油料产业形势分析与发展对策建议[J].中国油料作物学报,2014,36(3):414-421.

[2] 殷艳,廖星,余波,等.我国油菜生产区域布局演变和成因分析[J].中国油料作物学报,2010,32(1):147-151.

[3] 中华人民共和国国家统计局.中国统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2016.

[4] 殷艳,王汉中.我国油菜产业发展成就、问题与科技对策[J].中国农业科技导报,2012,14(4):1-7.

[5] 傅寿仲,戚存扣,浦惠明,等.中国油菜栽培科学技术的发展[J].中国油料作物学报,2006,28(1):86-91.

[6] 鲁剑巍,陈防,张竹青,等.磷肥用量对油菜产量、养分吸收及经济效益的影响[J].中国油料作物学报,2005,27(1):73-76.

[7] 闫磊,姜存仓,董肖昌,等.多元醇络合硼对油菜苗期生长及生理特性的影响[J].华中农业大学学报,2017,36(2):38-44.

[8] 张青松,肖文立,廖庆喜,等.油菜直播机深浅旋组合式种床装备装置的设计与试验[J].华中农业大学学报,2016,35(4):121-128.

[9] 周雅文,丁幼春,杨军强,等.油菜直播机导航路径识别方法研究[J].华中农业大学学报,2016,35(3):128-133.

[10] 田波平,廖庆喜,黄海东,等.2BFQ-6 型油菜精量联合直播机的设计[J].农业机械学报,2008,39(10):211-213.

[11] 肖荣英.不同生态区水稻-油菜轮作制中氮钾肥效应及养分平衡研究[D].武汉:华中农业大学,2006.

[12] HAMZA M A, ANDERSON W K. Combinations of ripping depth and tine spacing for compacted sandy and clayey soils [J]. Soil and tillage research, 2008, 99(2): 213-220.

[13] SALAR M R, ESEHAGHBEUGI A, HEMMAT A. Soil loosening characteristics of a dual bent blade subsurface tillage implement [J]. Soil and tillage research, 2013, 134(1): 17-24.

[14] 邹娟. 冬油菜施肥效果及土壤养分丰缺指标研究 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2010.

[15] 段永惠, 张乃明, 张玉娟. 施肥对农田氮磷污染物径流输出的影响研究 [J]. 土壤, 2005, 37(1): 48-51.

[16] 方日尧, 赵惠青, 同延安. 渭北旱原冬小麦深施肥沟播综合效应研究 [J]. 农业工程学报, 2000, 16(1): 49-52.

[17] 战秀梅, 李亭亭, 韩晓日, 等. 不同施肥方式对春玉米产量、效益及氮素吸收和利用的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2011, 17(4): 861-868.

[18] 姚万生, 薛少平, 朱瑞祥, 等. 组合式下位分层施肥播种开沟器的研制 [J]. 西北农林科技大学学报 (自然科学版), 2008, 36(8): 223-228.

[19] 王廷双, 冯小静, 刘玉琴, 等. 2BJT—2 型通用精密播种机的研究 [J]. 农业机械学报, 1996, 27(S1): 84-88.

[20] 曾山, 汤海涛, 罗锡文, 等. 同步开沟起垄施肥水稻精量旱穴直播机设计与试验 [J]. 农业工程学报, 2012, 28(20): 12-19.

[21] 芦新春, 陈书法, 杨进, 等. 新型高效深施肥作业机结构设计 [J]. 中国农机化学报, 2016, 37(4): 35-38, 53.

[22] 谷晓博, 李援农, 杜娅丹, 等. 施肥深度对冬油菜产量、根系分布和养分吸收的影响 [J]. 农业机械学报, 2016, 47(6): 120-128, 206.

[23] 张青松. 油菜直播机开沟旋耕降附减阻机理与仿真分析 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2017.

[24] 邹娟, 鲁剑巍, 李银水, 等. 直播油菜施肥效应及适宜肥料用量研究 [J]. 中国油料作物学报, 2008, 30(1): 90-94.

[25] 官春云, 谭太龙, 王国槐, 等. 四种油菜测产方法的比较研究 [J]. 中国油料作物学报, 2010, 32(2): 187-190.

Design and performance test of plough-type positive deep fertilization device for rapeseed direct planter

XIAO Wenli¹ XIAO Wenfang¹ LIAO Yitao^{1,2}
ZHANG Qingsong¹ WEI Guoliang¹ LIAO Qingxi^{1,2}

1.College of Engineering, Huazhong Agricultural University/
Key Laboratory of Agricultural Equipment in Mid-lower Yangtze River,
Ministry of Agriculture, Wuhan 430070, China;

2.Collaborative Innovation Center for Oil Crops in South China, Changsha 410128, China

Abstract A plough-type fertilizer device, ditching the furrow with plough-type surface and fertilizing through the middle of plough leg, was designed to operate with rotary tillage unit of rapeseed direct planter and to realize positive deep fertilization function, which can improve the fertilizer utilization ratio and passing performance. The plough-type surface, plough leg and plough side plate were designed and the structure parameters of soil breaking surface and soil guide plane were determined. The relationship between forward speed and fertilizer depth, depth of ditch after soil covering were analyzed by numerical soil bin experiment. The results showed that qualification rate and stability coefficient of fertilizer depth were 95% and more than 90.37%, respectively. The forward speed was 1.1 km/h, 2.2 km/h, and 3.3 km/h, respectively. The plough-type fertilizers were assembled into rapeseed direct planter and the field test was carried out. The result showed that qualification rate of fertilizer depth was 94%. The stability coefficients of different line were 96.87%. The rapeseed root at the stage of flowering, output with drilling mixed fertilization, and vertically deep fertilization treatments were analyzed. The result showed that rapeseed root at the stage of flowering and output from deep fertilization by plough-type fertilizer device was improved.

Keywords rapeseed direct planter; similar plough surface; positive deep fertilization; performance tests

(责任编辑: 陆文昌)