

网络出版时间:2014-05-28 11:34

DOI:10.13207/j.cnki.jnwafu.2014.06.023

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/doi/10.13207/j.cnki.jnwafu.2014.06.023.html>

气吸式花生膜上精量穴播轮田间作业性能测试

吕小莲^{1,2}, 胡志超¹, 张会娟¹, 于向涛¹, 刘敏基¹

(1 农业部南京农业机械化研究所, 江苏 南京 210014; 2 滁州学院 机械与电子工程学院, 安徽 滁州 239000)

[摘 要] 【目的】选用自行设计开发的穴播轮进行花生田间成穴、播种性能试验, 研究气吸式花生膜上精量穴播轮的作业性能, 分析其影响因素及影响效果。【方法】采用单因素分析法, 对不同作业速度(0.32, 0.76 和 1.02 m/s)下的膜孔尺寸、孔穴错位率、膜下播种深度合格率、穴距合格率进行测试与分析; 采用多因素正交试验的方法, 在不同吸种孔线速度(0.11, 0.24, 0.33 m/s)、不同吸种负压(3.66, 3.98, 4.65 kPa)条件下对花生种子播种质量进行测试与比较。【结果】作业速度对穴播轮成穴及播种性能影响较为显著, 低速作业时成穴性能较好, 膜孔尺寸、孔穴错位、膜下播种深度、穴距均较好; 高速作业时孔穴错位率较大, 且穴距变异较大, 漏播率增大。吸种孔线速度及吸种负压对播种质量影响显著, 随吸种孔线速度的增加, 漏播指数增加, 重播指数减小; 随吸种负压的增加, 穴粒数的合格率增加, 重播指数相应提高。【结论】在满足成穴质量要求的基础上, 当作业速度为 0.76 m/s(吸种孔线速度为 0.24 m/s)、吸种负压为 4.65 kPa 时, 穴播轮作业质量最优, 此时合格指数为 95.0%, 空穴指数为 1.0%, 重播指数为 4.0%, 孔穴错位率为 4.0%, 膜下播种深度合格率为 95.0%, 穴距合格率为 95.0%, 成穴质量、播种质量均能较好地满足花生精量穴播的要求。

[关键词] 花生播种; 穴播轮; 成穴性能; 播种性能

[中图分类号] S223.2⁺3

[文献标志码] A

[文章编号] 1671-9387(2014)06-0213-06

Working performance of the air-suction peanut mulch film precise dibbler in field

LÜ Xiao-lian^{1,2}, HU Zhi-chao¹, ZHANG Hui-juan¹, YU Xiang-tao¹, LIU Min-ji¹

(1 Nanjing Research Institute for Agricultural Mechanization Ministry of Agriculture, Nanjing, Jiangsu 210014, China;

2 College of Machinery and Electronic Engineering, Chuzhou University, Chuzhou, Anhui 239000, China)

Abstract: 【Objective】Punching and seeding test for designed dibbler was carried out in field to investigate the working performance of the air-suction peanut precise dibbler, and its influence factors were analyzed. 【Method】The film hole size, cavities dislocation rate, planting depth and row spacing at different operating speeds (0.32, 0.76 and 1.02 m/s) were tested with single factor experiment-planning, and the planting quality at different suction seeds hole velocities (0.11, 0.24, and 0.33 m/s) and suction seed negative pressures (3.66, 3.98, and 4.65 kPa) was tested and compared using the multi-factor orthogonal experimental method. 【Result】Operating speed had significant effects on punching and seeding performance. Low speed had better cavitation performance with good film hole length, sowing depth and row spacing. High speed had large cavities dislocation rate, row spacing variation rate, and missing seeding rate. Suction seed hole velocity and suction seed negative pressure had significant effects on seeding quality. Performance

[收稿日期] 2013-05-10

[基金项目] 江苏省基础研究计划(自然科学基金)项目(BK2012518); 安徽省高校省级自然科学基金项目(KJ2013A199); 国家现代农业技术体系建设专项(CARS-14-08B)

[作者简介] 吕小莲(1974—), 女, 浙江黄岩人, 副教授, 博士, 主要从事农业机械化工程研究。E-mail: lx1500@163.com

[通信作者] 胡志超(1963—), 男, 陕西蓝田人, 研究员, 博士生导师, 主要从事农业机械化工程及农产品加工技术装备研究。

of suction seed decreased and seed leakage rate increased with the increase of suction seed hole velocity, while performance of suction seed increased and seed leakage rate decreased as the increase of negative pressure. 【Conclusion】 When operating speed was 0.76 m/s (suction seed hole velocity was 0.24 m/s), and suction seed negative pressure was 4.65 kPa, the best cavitation quality was obtained with qualified index of 95.0%, missing index of 1.0%, repeat index of 4.0%, cavities dislocation rate of 4.0%, qualified seeding depth rate of 95.0%, and qualified cavities spacing rate of 95.0%.

Key words: seeding peanut; dibbler; punching performance; seeding performance

地膜覆盖作业对于农业节水、促进作物增产是一项非常有效的技术,已在我国广泛推广。据统计,2008 年我国覆膜种植中,地膜覆盖面积 1 530.8 万 hm^2 ,处于逐年增长的趋势^[1]。按照铺膜播种的顺序可先播种后铺膜,也可以先铺膜后播种。目前国内生产的铺膜播种机械基本采用先播种后铺膜的传统作业方式,此种作业方式在出苗前需人工破口或机械打孔放苗,增加了田间管理的工序,加大了劳动强度。覆膜打穴播种是近几年发展起来的一项新型播种技术,该技术由成穴部件在播种位置上切开地膜成穴播种,对土壤的扰动小,不仅有利于土壤保墒和抗旱,还可省去人工破膜环节,节省工时。但现有的膜上播种机在播种均匀性、膜下播种深度及播种精度上还存在较多的技术问题,播种机具在作业中存在撕膜、挑膜、挑种等问题,尤其在高速作业时挑膜、撕膜现象更为严重^[2-4]。本研究对本课题组研制开发的气吸式花生膜上精量穴播机关键工作部件穴播轮的田间作业性能进行试验,研究影响其作业性能的主要因素及其影响效果,以期为穴播轮的进一步优化提供参考。

1 穴播轮的结构及工作原理

气吸式花生膜上穴播机主要由施肥装置、起垄装置、开沟器、铺膜装置、穴播轮、覆土装置等组成,可一次性完成起垄、施肥、铺膜、播种、覆土等田间作业。穴播轮是气吸式花生膜上穴播机的关键工作部件之一,主要完成破膜、成穴及精量播种等作业,其主要由支架、滚轮体、成穴组件、传动装置及气吸式排种装置等部件组成,结构见图 1。成穴组件采用压板开启方式,沿滚轮体径向均匀分布。穴播轮气室负压由风机提供,滚轮体通过传动轴带动排种盘转动,其速比由链轮与内辊子链轮的配比决定。穴播轮垂直安装在支架上,机具作业时牵引穴播轮沿播种方向滚动前进,带动排种盘转动,将种子室内的种子吸附在吸种孔上,当种子被排种盘带动转到气室环形气腔的终点时,由于负压消失,种子在自重作

用下落入导种器被导入相对应的接种盒内,随着滚轮体转动落入与其相通的活动鸭嘴腔体内。活动鸭嘴为常闭状态,在其打穿地膜成穴时,压板与地面逐渐接触,利用穴播轮自重受压将活动鸭嘴打开,随即将腔体内的种子投入形成的穴孔中,随着穴播轮继续转动,压板逐渐离开土壤,其被弹簧顶起带动活动鸭嘴关闭,完成一组破膜、成穴、投种动作。

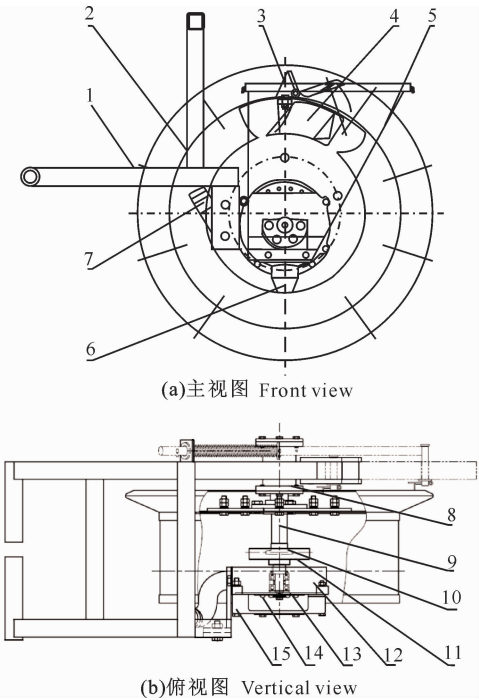


图 1 气吸式花生膜上精量穴播轮结构图

- 1. 支架; 2. 滚轮体; 3. 成穴组件; 4. 接种盒;
- 5. 种子箱; 6. 导种器; 7. 气管; 8. 轴承室; 9. 传动轴;
- 10. 链轮; 11. 内辊子链轮; 12. 气室;
- 13. 排种盘; 14. 搅种器; 15. 种子室

Fig. 1 Structural sketch of air-suction peanut mulch film precise dibbler

- 1. Bracket; 2. Roller; 3. Cavitation components;
- 4. Seed catching box; 5. Seed box; 6. Seed guiding part;
- 7. Gas pipe; 8. Bearing chamber; 9. Transmission shaft;
- 10. Sprocket; 11. Internal roller sprocket; 12. Gas chamber;
- 13. Metering disc; 14. Seed stirring part; 15. Seeds chamber

2 作业参数分析

穴播轮排种盘的吸附能力及吸种孔线速度是影响穴播轮精量播种的 2 个关键因素^[5],因此对其进行相关分析。

2.1 排种盘吸附能力

气室吸种负压是决定排种器吸附能力的主要因素,不同品种的花生种子由于物理特性的差别,所需吸附力的大小也不同。在竖直面内回转的排种盘上,1 个吸种孔吸住 1 粒种子所需的吸附力为^[5-8]:

$$p_0 d/2 \geqslant QC. \tag{1}$$

式中: p_0 为单个吸种孔吸力,N; d 为吸种孔直径,cm; Q 为单粒种子的重力、离心力及种子群内摩擦力的合力,N; C 为种子重心与排种盘之间的距离,cm。

由于实际作业中,穴播轮受自然条件和外界环境的影响,因此本研究引入吸种可靠性系数 K_1 ($K_1=1.8\sim2.0$,一般种子千粒质量小,形状近似球形时取小值)和工作稳定可靠系数 K_2 ($K_2=1.6\sim2.0$,种子千粒质量大时则取大值),针对不同种子,在最大极限条件下,可求出气室所需最大充种负压为:

$$P_{\max} = -\frac{80K_1K_2mgC}{\pi d^3} \left[1 + \frac{v_p^2}{gr} + \lambda \right]. \tag{2}$$

式中: m 为单粒种子质量,kg; g 为重力加速度, m/s^2 ; v_p 为吸种孔中心处线速度,cm/s; r 为吸种孔转动半径,m; λ 为种子的摩擦阻力综合系数, $\lambda=(6\sim10)\tan\alpha$, α 为种子自然休止角。

由此可知,真空度越大,吸种孔吸附种子能力越强,不易产生漏吸;但随着真空度加大,吸附多粒种子的现象加剧,使重播率增大。

2.2 排种盘吸种孔线速度

排种盘吸种孔线速度 v_p 大小对种子充填性能及投种准确性均有显著的影响^[5,8]。当线速度过高时,排种盘的吸种孔通过充种区时间较短,由于种子来不及被吸附或种子间相互碰撞、摩擦作用使已被吸附的种子脱落,这些都将造成穴播轮漏播,影响其播种质量。此外,排种盘的转速越高,种子的惯性离心力就越大,需要相应提高吸种负压来保证种子的吸附质量,由于穴播轮吸种负压是由拖拉机输出轴带动风机提供,因此吸种负压受转速范围的限制。在没有增设其他用以提高充种性能的辅助装置下,一般排种盘吸种孔线速度 v_p 不宜超过 0.35 m/s ,排种盘吸种孔线速度又与播种机作业速度 v_m 有关,二者关系如下^[5]:

$$v_p = \frac{\pi Dq(1+\eta)v_m}{Ztn}. \tag{3}$$

式中: d 为排种盘直径,cm; q 为每穴粒数,个; n 为排种盘吸种孔排数,排; η 为穴播轮滑移率,%; Z 为排种盘吸种孔数,个; t 为穴距或株距,cm。

由(3)式可知,当其他参数相同时, v_p 与 v_m 成正比,由于 v_p 受充种性能的限制不能过大,因而限制了播种机的作业速度 v_m 。

3 试验条件与方法

3.1 试验条件

试验在江苏省农科院试验田进行,土壤类型为轻壤土,前期种植作物为甘薯,试验材料选用种植较为广泛的四粒红花生种子。试验前,按要求进行耕整地,除去地表杂质,整地后的松土层大于 6 cm ,地表达到土壤细碎、无明显土块,无影响机具作业的地表残留物,如残膜、残株、杂草、石块等;整地后晾晒 $1\sim2\text{ d}$,待表土层出现 $1\sim2\text{ cm}$ 厚的水分较小的干土层时再进行膜上播种。播前对种子需进行分级、清选,用于播种的花生籽粒应清洁无杂物,颗粒饱满均匀,无破损,无干瘪籽及弱籽等。播种机整个气路密封性良好,无漏气现象。

3.2 试验设计

穴播轮作业性能测试中选取机具作业速度、吸种孔线速度、吸种负压为试验因素,膜孔长度、孔穴错位率、膜下播种深度、穴距、穴粒数为试验指标。采用单因素分析法测试不同作业速度($0.32, 0.76$ 和 1.02 m/s)下的膜孔长度、孔穴错位率、膜下播种深度和穴距。参考相关文献^[9-13]及室内排种器排种性能的试验结果,采用二因素三水平全组合的试验方法安排试验(表 1),测试不同吸种孔线速度(外圈吸种孔线速度)、不同吸种负压条件下的播种合格(每穴 $1\sim2$ 粒)指数、空穴指数、重播指数。正交试验时根据机具作业速度与吸种孔线速度的关系,作业速度依次为 $0.32, 0.76$ 和 1.02 m/s 。

表 1 气吸式花生膜上精量穴播轮作业性能影响因素正交试验因素水平表

Table 1 Orthogonal factor levels for analyzing the influencing factors of the air-suction peanut mulch film dibbler

水平 Level	吸种孔线速度/ ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) Suction seed hole velocity	吸种负压/kPa Suction seed negative pressure
1	0.11	3.66
2	0.24	3.98
3	0.33	4.65

3.3 试验方法

测试过程中为避免人工测试在土下找种对测试结果带来的误差,测试时机具上不安装覆土滚轮,为防止地膜窜动通过安装在穴播轮外侧的覆土圆盘完成膜边覆土。试验中,选取测区长度为 50 m,两端留出 10 m 的预留区,选取每 20 穴为 1 个测试组,在测区内随机选取 5 个组测试,选定膜孔为测点,在小区各测点处,查定膜孔长度、孔穴错位率、膜下播种深度、穴距、穴粒数等指标,按 NY/T 987—2006^[14],采用公式(4)计算合格指数、重播指数、空穴指数、孔穴错位合格率、膜下播种深度合格率、穴距合格率。

$$\theta_i = N_i / N \times 100\%。$$
 (4)

式中: θ_i 为穴粒数指数、孔穴错位合格率、膜下播种深度合格率或穴距合格率,%; N_i 为小区内符合要

求的各性能指标数,个; N 为小区内各性能指标测定的总数,个。

考虑实际播种质量,引入排种综合评价指数 $\eta^{[6]}$,有:

$$\eta = \theta_a + K\theta_e。$$
 (5)

式中: θ_a 为合格指数,%; θ_e 为重播指数,%; K 为系数,取值 1/3~1/2。

4 结果与分析

4.1 作业速度对孔穴质量和膜下播种深度的影响

采用单因素分析法测试不同作业速度下膜孔长度、孔穴错位率、膜下播种深度、穴距,试验结果见表 2。综合分析试验结果可知,当作业速度为 0.32 m/s 时,孔穴质量及膜下播种深度较好。

表 2 气吸式花生膜上精量穴播轮作业速度对膜孔长度、孔穴错位率、膜下播种深度和穴距的影响

Table 2 Effect of operating speed of air-suction peanut mulch film dibbler on film hole length,cavities dislocation rate, planting depth and row spacing

作业速度/(m·s ⁻¹) Speed	膜孔长度 Film hole length			
	平均值/cm Mean	均方差/cm Standard deviation	变异系数 Variable coefficient	合格率/% Qualified rate
0.32	3.59	0.25	0.069	/
0.76	3.73	0.31	0.083	/
1.02	3.84	0.41	0.106	/

作业速度/(m·s ⁻¹) Speed	孔穴错位率 Cavities dislocation rate			
	平均值/% Mean	均方差/% Standard deviation	变异系数 Variable coefficient	合格率/% Qualified rate
0.32	11.19	9.04	0.807	97.0
0.76	12.76	19.18	1.499	96.0
1.02	22.12	22.43	1.014	94.0

作业速度/(m·s ⁻¹) Speed	膜下播种深度 Seeding depth			
	平均值/cm Mean	均方差/cm Standard deviation	变异系数 Variable coefficient	合格率/% Qualified rate
0.32	4.96	0.42	0.084	95.0
0.76	4.91	0.42	0.085	95.0
1.02	4.64	0.52	0.112	90.0

作业速度/(m·s ⁻¹) Speed	穴距 Cavities spacing			
	平均值/cm Mean	均方差/cm Standard deviation	变异系数 Variable coefficient	合格率/% Qualified rate
0.32	16.03	0.44	0.027	95.0
0.76	16.17	0.49	0.030	95.0
1.02	16.23	0.22	0.014	90.0

4.1.1 孔穴质量 由于穴播轮是破膜成穴,因此对膜孔尺寸的影响较大。由表 2 可知,当作业速度由 0.32 m/s 增至 1.02 m/s 时,膜孔长度由 3.59 cm 增至 3.84 cm,其变异系数由 0.069 增至 0.106,孔穴错位合格率由 97% 降至 94%,穴距平均值由 16.03 cm 增至 16.23 cm,合格率由 95% 降至 90%,说明随着穴播轮作业速度的提高,膜孔长度增大,离散程度加大,均匀性变差,撕膜、挑膜的现象更明显;孔穴错位合格率随机具前进速度的增加而降低,当

速度大于 1.02 m/s 时,其合格率无法满足作业要求,由于机具速度增大,地膜受成穴部件及铺膜装置的纵向拉伸或挤压加剧,使地膜变形加重,造成孔穴错位率上升,合格率降低;穴距随机具前进速度的增加而加大,这是因为随着作业速度的增加,穴播轮滑移率加大,造成穴距增大,导致合格率有所降低。

4.1.2 膜下播种深度 由表 2 试验结果可知,膜下播种深度随机具前进速度的增加变化不大,当作业速度由 0.32 m/s 增至 1.02 m/s 时,膜下播种深度

由 4.96 cm 减小到 4.64 cm,变异系数由 0.084 增至 0.112,合格率由 95%降至 90%,说明随作业速度的增大,膜下播种深度有所减小,均匀性及合格率均降低,分析可知影响膜下播种深度的主要原因是成穴活动鸭嘴入土深度及开启位置。随作业速度的增加,投种时间相对变短,且种子下落时水平分速度加大,影响其准确投种。此外,当苗床出现大块杂物或土壤坚实度过大时,成穴部件无法达到要求深度或无法破膜成穴,从而影响膜下播种深度;由于活动鸭嘴是压板受压开启,当土壤过于松软,活动鸭嘴打开不及时,无法准确投种,从而影响膜下播种深度,

表 3 气吸式花生膜上精量穴播轮吸种孔线速度和吸种负压对播种质量影响的正交试验结果

Table 3 Effect of suction seed hole velocity and suction seed negative pressure of the air-suction peanut mulch film dibbler on planting quality						
试验编号 No.	吸种孔线速度 Suction seed hole velocity	吸种负压 Suction seed negative pressure	合格指数/% Qualified index	重播指数/% Multiples index	空穴指数/% Miss index	综合评价指数/% Evaluation index
1	1	1	96.0	2.0	2.0	97.0
2	1	2	93.0	5.0	2.0	95.5
3	1	3	94.0	5.0	1.0	96.5
4	2	1	96.0	1.0	3.0	96.5
5	2	2	95.0	3.0	2.0	96.5
6	2	3	95.0	4.0	1.0	97.0
7	3	1	95.0	1.0	4.0	95.5
8	3	2	95.0	2.0	3.0	96.0
9	3	3	94.0	3.0	3.0	95.5

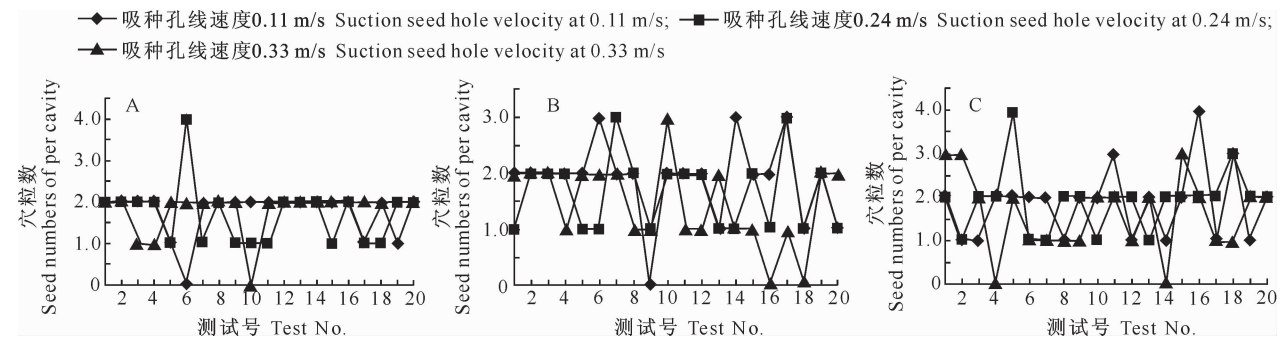


图 2 不同吸种负压下气吸式花生膜上精量穴播轮吸种孔线速度对充种性能的影响

A. 吸种负压为 3.66 kPa;B. 吸种负压为 3.98 kPa;C. 吸种负压为 4.65 kPa

Fig. 2 Effect of suction seed hole velocity of the air-suction peanut mulch film dibbler on seed-metering performance under different suction seed negative pressures
A. Suction seed negative pressure 3.66 kPa;B. Suction seed negative pressure 3.98 kPa;
C. Suction seed negative pressure 4.65 kPa

综合分析表 3、图 2 和图 3 可知,吸种孔线速度及吸种负压对穴粒数影响均较显著,当吸种负压一定时,随着吸种孔线速度的增加,空穴指数增大,重播指数降低,穴粒数波动较大,合格指数降低,综合评价指数降低,吸种负压越高时,这种现象越明显;当吸种孔线速度一定时,随着吸种负压的增加,空穴指数减小,重播指数增大,穴粒数波动减小,合格率

有时甚至无法开启,产生空穴。
4.2 吸种孔线速度和吸种负压对播种质量的影响
采用多因素正交分析法测试不同吸种孔线速度、不同吸种负压下播种的花生籽粒的合格指数、空穴指数、重播指数,并依据公式(5)(其中 K 取 0.5)计算出综合评价指数,结果见表 3。试验中随机选取不同状况下连续的 20 个穴孔各一组,统计其穴粒数分布,得不同吸种负压下吸种孔线速度对穴粒数的影响,结果见图 2;不同吸种孔线速度下吸种负压对穴粒数的影响,结果见图 3。

增大;穴播轮作业时当吸种孔线速度为 0.24 m/s、吸种负压为 4.65 kPa 时穴播轮播种质量最优,在此条件下合格指数为 95.0%,空穴指数为 1.0%,重播指数为 4.0%,孔穴错位率为 4.0%,膜下播种深度合格率为 95.0%,穴距合格率为 95.0%,成穴质量、播种质量均能较好地满足花生精量穴播的要求。

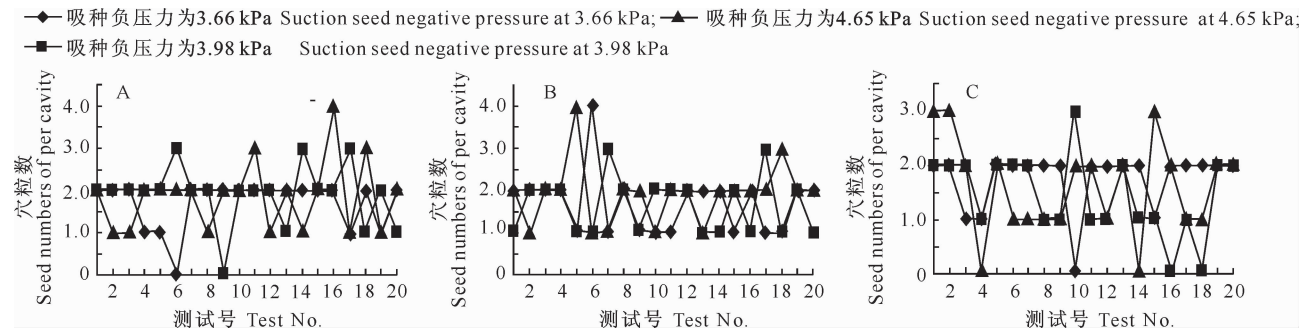


图 3 不同吸种孔线速度下气吸式花生膜上精量穴播轮吸种负压对充种性能的影响

A. 吸种孔线速度为 0.11 m/s ;B. 吸种孔线速度为 0.24 m/s ;C. 吸种孔线速度为 0.33 m/s

Fig. 3 Effect of suction seed negative pressure of the air-suction peanut mulch film dibbler on seed-metering performance under different suction seed hole velocities

A. Suction seed hole velocity 0.11 m/s;B. Suction seed hole velocity 0.24 m/s;C. Suction seed hole velocity 0.33 m/s

5 结束语

1)机具作业速度对穴播轮作业质量有明显的影
响,随着作业速度的增加,膜孔长度变大,均匀性变
差,孔穴错位合格率降低,穴距随机具前进速度的增
加而加大。吸种孔线速度及吸种负压对充种性能影
响显著,随吸种孔线速度的增加,漏播率增加,重播
率减小;随吸种负压的增加,穴粒数的合格率增加,
重播率也相应提高。在穴播轮成穴质量满足作业要
求的基础上,吸种负压达到 4.65 kPa 时,其具有较
好的充种性能,且作业性能稳定,继续增加吸种负压
则对提高播种质量的作用较小。

2)播种过程中存在漏播问题,分析其原因除了
排种器吸种问题外,主要还存在活动鸭嘴开启不及
时或未开启,这是由于土壤较松软,压板无法将活动
鸭嘴及时打开或无法开启所致。

3)通过穴播轮田间作业试验,确定当作业速度
为 0.76 m/s,吸种孔线速度为 0.24 m/s,吸种负压
为 4.65 kPa 时穴播轮作业质量最优,此时合格指
数、空穴指数、重播指数及综合指数分别为 95.0%,
1.0%,4.0%和 97.0%,孔穴错位率、膜下播种深度
合格率、穴距合格率分别为 4.0%,95.0%和
95.0%,成穴、播种质量均能较好地满足气吸式膜上
播种机规定的作业要求。

[参考文献]

[1] 吕小莲,王海鹍,胡志超,等.花生膜上播种技术及其设备研发
进展 [J].中国农机化,2012,239(1):89-92.
Lü X L, Wang H O, Hu Z C, et al. Research development of
peanut seeding technology and equipment on the film [J]. Chi-
nese Agricultural Mechanization, 2012, 239(1): 89-92. (in Chi-
nese)

[2] 马成林,李成华,于海业.打穴播种机研究的发展与现状 [J].
农业机械学报,1999,30(1):59-62.
Ma C L, Li C H, Yu H Y. Development and status of research
on punch planter [J]. Transactions of the Chinese Society for
Agricultural Machinery, 1999, 30(1): 59-62. (in Chinese)
[3] 卢勇涛,陈学庚,李亚雄.鸭嘴滚筒式气吸精量穴播器的设计与
试验 [J].中国农机化,2012,239(1):104-106,118.
Lu Y T, Chen X G, Li Y X. Design and experiment on air-suc-
tion cotton precision dibbler with duckbilled roller [J]. Chinese
Agricultural Mechanization, 2012, 239(1): 104-106, 118. (in
Chinese)
[4] 何堤,陈立东,谢宇峰.气吸式穴播器排种质量影响因素的试
验研究 [J].农机化研究,2006,28(1):175-179.
He D, Chen L D, Xie Y F. Effects of sew age irrigation on
growth of paddy [J]. Journal of Agricultural Mechanization
Research, 2006, 28(1): 175-179. (in Chinese)
[5] 李宝筏.农业机械学 [M].北京:中国农业出版社,2008.
Li B F. Agricultural machinery study [M]. Beijing: China Agri-
culture Press, 2008. (in Chinese)
[6] 刘文忠,赵满全,王文明,等.气吸式排种装置排种性能理论分
析与试验 [J].农业工程学报,2010,26(9):133-138.
Liu W Z, Zhao M Q, Wang W M, et al. Theoretical analysis and
experiments of metering performance of the pneumatic seed
metering device [J]. Transactions of the Chinese Society of Ag-
ricultural Engineering, 2010, 26(9): 133-138. (in Chinese)
[7] 刘彩玲,宋建农,王清旭,等.气吸辊式水稻精量直播排种器
的设计与试验研究 [J].中国农业大学学报,2012,17(2):134-138.
Liu C L, Song J N, Wang Q X, et al. Design and experimental
research of air-suction roller rice precision direct seed-metering
device [J]. Journal of China Agricultural University, 2012, 17
(2): 134-138. (in Chinese)
[8] 中国农业机械化科学研究院.农业机械设计手册 [M].北京:
中国农业科学出版社,2007.
Chinese Academy of Agricultural Mechanization Sciences. Ag-
ricultural mechanical design manual [M]. Beijing: China Agri-
culture Sciences Press, 2007. (in Chinese)

- [3] Chang T J, Kao H M, Chang K H, et al. Numerical simulation of shallow-water dam break flows in open channels using smoothed particle hydrodynamics [J]. *Journal of Hydrology*, 2011, 408: 78-90.
- [4] Singh J, Altinakar M S, Ding Y. Two-dimensional numerical modeling of dam-break flows over natural terrain using a central explicit scheme [J]. *Advances in Water Resources*, 2011, 34: 1366-1375.
- [5] Baghlani A. Simulation of dam-break problem by a robust flux-vector splitting approach in Cartesian grid [J]. *Scientia Iranica*, 2011, 18(5): 1061-1068.
- [6] 周孝德, 冯民权, 闵 涛, 等. 黑河金盆水库洪水淹没范围及撤离方案研究报告 [R]. 西安: 西安理工大学, 2006.
Zhou X D, Feng M Q, Min T, et al. The report of the submerged area and evacuation plan of Heihe Jinpen reservoir flood [R]. Xi'an: Xi'an University of Technology, 2006. (in Chinese)
- [7] 沈 洋, 王佳妮. 基于 MIKE 软件的溃坝洪水数值模拟 [J]. *水电能源科学*, 2012, 30(6): 56-58.
Shen Y, Wang J N. Numerical simulation of dam break flood based on MIKE software [J]. *Water Resources and Power*, 2012, 30(6): 56-58. (in Chinese)
- [8] Shakibaenia A, Jin Y C. A mesh-free particle model for simulation of mobile-bed dam break [J]. *Advances in Water Resources*, 2011, 34(6): 794-807.
- [9] 缪吉伦, 赵万星, 黄成林. SPH 法模拟立面二维溃坝流动应用研究 [J]. *重庆交通大学学报: 自然科学版*, 2012, 31(1): 121-123.
Miao J L, Zhao W X, Huang C L. Application of vertical Two-Dimensional dam break simulated by SPH method [J]. *Journal of Chongqing Jiaotong University: Natural Sciences*, 2012, 31(1): 121-123. (in Chinese)
- [10] 李先明, 王占军. 小井沟水库围堰溃决洪水演进预测分析 [J]. *水力发电*, 2013, 39(1): 20-22.
Li X M, Wang Z J. Prediction on cofferdam break flood routing of Xiaojinggou reservoir [J]. *Water Power*, 2013, 39(1): 20-22. (in Chinese)
- [11] 王领元. 应用 MIKE 对河流一、二维的数值模拟 [D]. 辽宁大连: 大连理工大学, 2007.
Wang L Y. The numerical simulation of 1-D and 2-D river on MIKE [D]. Dalian, Liaoning: Dalian University of Technology, 2007. (in Chinese)
- [12] 李 洋. GIS 支持下的黑河金盆水库溃坝洪水数值模拟 [D]. 西安: 西安理工大学, 2007.
Li Y. The Numerical Simulation of dam break floods based on GIS in Jinpen reservoir [D]. Xi'an: Xi'an University of Technology, 2007. (in Chinese)

(上接第 218 页)

- [9] 王吉奎, 坎 杂, 吴 杰, 等. 夹持自锁式棉花精量穴播器的设计与试验 [J]. *农业机械学报*, 2006, 37(5): 54-56.
Wang J K, Kan Z, Wu J, et al. Design and experiment on clamping and self-locking cotton precision dibbler [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Machinery*, 2006, 37(5): 54-56. (in Chinese)
- [10] 张石平, 陈 进, 李耀明. 振动气吸式穴盘精播装置振动条件理论分析与试验 [J]. *农业机械学报*, 2008, 39(7): 56-59.
Zhang S P, Chen J, Li Y M. Theoretical analysis and experiment on vibration conditions for vibrational air-suction tray precision seeding-machine [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Machinery*, 2008, 39(7): 56-59. (in Chinese)
- [11] 杨明金, 邱 兵, 杨 玲, 等. 振动气吸式精密穴播机的排种性能 [J]. *农业工程学报*, 2010, 26(9): 139-143.
Yang M J, Qiu B, Yang L, et al. Metering performance of the vibrational vacuum precision tray seeder [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2010, 26(9): 139-143. (in Chinese)
- [12] 陈 魁. 试验设计与分析 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2005.
Chen K. Design and analysis of experiments [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2005. (in Chinese)
- [13] 陈学庚, 卢勇涛. 气吸滚筒式棉花精量穴播器排种性能试验 [J]. *农业机械学报*, 2010, 41(8): 35-38.
Chen X G, Lu Y T. Sowing-performance of air-suction cylindrical cotton precision dibbler [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Machinery*, 2010, 41(8): 35-38. (in Chinese)
- [14] 农业部旱田作农具质量监督检验测试中心. NY/T 987—2006 铺膜穴播机作业质量 [S]. 北京: 中华人民共和国农业部, 2006.
The Quality Supervision and Testing Center for Dry Farmland Agricultural Machinery, Ministry of Agriculture. NY/T 987—2006 Operating quality of the mulching film and punching planter [S]. Beijing: Ministry of Agriculture of the People's Republic of China, 2006. (in Chinese)