

谷子精少量流体排种装置的设计与试验

张燕青¹, 崔清亮^{1*}, 王 丰², 侯华铭¹, 胡席忠¹

(1. 山西农业大学工学院, 太谷 030801; 2. 山西农业大学信息学院, 太谷 030800)

摘 要: 为解决中国北方旱地谷子播种难、播后出苗率低的问题, 根据谷子免间苗精少量播种农艺要求, 采用农用保水剂和水配制了谷子种粒混合悬浮液 (mixed suspension), 并针对其设计试制了谷子精少量流体排种装置。该文设计确定了输送泵滚轮数为 6 个及分合式排种管组合结构与尺寸参数, 其中泵管、长弯排种管、短弯排种管、末端排种管的内径分别为 4.8、4、4、4 mm, 长度分别为 700、100、74.4、20 mm; 并阐述了流体排种装置吸种、输种、排种工作过程。以种粒数变异系数为指标对配制的谷子种粒混合悬浮液的均匀性和稳定性进行了试验测定; 以种粒破碎率、穴距合格率、穴粒数合格率、空穴率为指标对流体排种装置进行了室内排种试验; 以穴距合格率、穴株数合格率、出苗率为指标进行了田间播种试验。结果表明, 谷子种粒混合悬浮液中保水剂、谷子种粒、水的质量比为 1.1:10:200, 其静置 0.5 h 后种粒数变异系数为 9.8%, 谷子种粒混合悬浮液在静置 5 h 内的种粒数变异系数为 9.7%~10.4%, 谷子种粒未发生沉降现象; 室内排种试验种粒破碎率小于 0.01%、穴距合格率大于 86%、穴粒数合格率大于 75%、空穴率小于 4.0%; 田间播种试验穴距合格率大于 77%、穴株数合格率大于 74%、出苗率大于 87%。该研究可为小颗粒种子精少量流体播种技术与装备的研发提供参考。

关键词: 农业机械; 设计; 试验; 排种装置; 播种; 流体; 谷子; 保水剂

doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2017.12.003

中图分类号: S223.2⁺3

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2017)-12-0020-08

张燕青, 崔清亮, 王 丰, 侯华铭, 胡席忠. 谷子精少量流体排种装置的设计与试验[J]. 农业工程学报, 2017, 33(12): 20—27. doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2017.12.003 <http://www.tcsae.org>

Zhang Yanqing, Cui Qingliang, Wang Feng, Hou Huaming, Hu Xizhong. Design and test of fluid and small-amount seed metering device for foxtail millet[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2017, 33(12): 20 — 27. (in Chinese with English abstract) doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2017.12.003 <http://www.tcsae.org>

0 引 言

谷子营养价值丰富, 多数种植在中国北方干旱、半干旱地区。近年来, 谷子产业发展迅速, 而实现谷子精少量机械化播种是亟待解决的问题之一^[1-4]。在北方丘陵山区, 谷子播种适期少雨干旱, 播后出苗难; 多数沿用传统人畜力耩播技术, 播种均匀性差、播量大, 存在出苗不整齐、间苗工作量大, 甚至出现苗荒现象^[5]。国内许多学者针对上述问题设计研制了机械式、气力式、离心式等小籽粒精少量播种装备, 并取得了显著成果^[6-14]。本文为解决抗旱节水、保苗、提高播种均匀性、节省劳动力等问题, 结合流体播种方法^[15]与谷子播种的农艺要求, 提出谷子流体播种方法。

谷子流体播种方法是将谷子种粒均匀分布在保水剂溶液中进行定量机播的方法^[15-18]。近年来, 流体播种方

法的应用与农用保水剂的发展密切相关。保水剂具有吸水功能, 吸水后为水凝胶, 可缓慢释放水分供作物吸收利用, 在抗旱节水, 提高种子发芽率和出苗率等方面有显著作用^[19-22]。国内外学者对流体播种方法和流体播种机进行了研究。英国、日本、美国、前苏联等在不同程度上组织推广流体播种方法并进行流体播种机的研制, 其播种机多为条播、喷播、撒播机, 多用于蔬菜、花卉、牧草等种子的播种且增产效果明显^[15-17]; 辛明金等^[23]对流体播种关键技术进行了分析, 并设计了玉米流体穴播装置; 李岩^[24]设计了小籽粒种子流体排种装置并进行了试验研究。谷子种子体积和密度小、播种均匀性差、旱地出苗率低, 而谷子流体播种技术及流体播种装备仍不成熟。为提高谷子播种均匀性及旱地出苗率, 本文基于谷子流体播种方法, 根据谷子免间苗精少量播种的农艺要求, 采用农用保水剂和水配制了谷子种粒混合悬浮液, 设计了谷子精少量流体排种装置并进行了室内排种试验与田间播种试验。该研究为谷子精少量流体播种技术与装备的研发提供参考。

1 谷子种粒混合悬浮液的配制

流体播种首先要配制种粒混合悬浮液, 使种子能够均匀稳定地分布在混合悬浮液中, 且具有较好的流动性, 以保证排种的均匀性和稳定性^[23]。选用保水剂配制种粒

收稿日期: 2016-12-20 修订日期: 2017-01-15

基金项目: 国家重点研发计划课题 (2016YFD0701801); 山西省科技攻关项目 (20120311035)

作者简介: 张燕青, 男, 山西灵石人, 博士生, 研究方向为旱作农业机械化关键技术与装备。太谷 山西农业大学工学院, 030801。

Email: zhangyq0721@126.com

*通信作者: 崔清亮, 男, 山西繁峙人, 教授, 博士生导师, 主要从事旱作农业机械化关键技术与装备的研究。太谷 山西农业大学工学院, 030801。

Email: qlcui@126.com

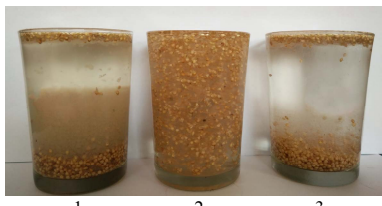
混合悬浮液可达到谷子流体播种的性能要求。保水剂又称土壤保水剂，是利用强吸水性树脂制成的一种具有超强吸水能力和保水能力的高分子聚合物，可分为丙烯酰胺-丙烯酸盐共聚交联物、淀粉接枝丙烯酸盐共聚交联物 2 大类。保水剂遇水时能迅速吸收比自身质量高几百倍的水分而膨胀为水凝胶，呈弱碱性或弱酸性，无毒安全。由于保水剂高分子呈交联结构，能将吸收的水分凝胶化而具有很强的保水性。吸水后的保水剂用于流体播种，可缓慢释放其吸收的水分，以促进种子发芽和出苗生长^[19]。

谷子种粒混合悬浮液中保水剂、种子和水的比例应适当。若保水剂比例较小时，混合悬浮液的黏度较低，对种子的悬浮能力较小，种子分布均匀性较差；若保水剂的比例较大时，混合悬浮液的黏度较大，流动性和种子分布均匀性也较差。混合悬浮液中种子的比例过大或过小，会导致排种均匀性和流动性变差。本文配制谷子种粒混合悬浮液，对其均匀性和稳定性进行试验测定，得到谷子种粒混合悬浮液合适的配制比例。

1.1 保水剂的选择

根据谷子种粒混合悬浮液的性能要求和经济性选用保水剂。试验选用的保水剂有：百力特保水剂，白色颗粒状，吸水倍率 300~500，由山东省菏泽天玲农化有限公司生产；沃特保水剂，暗绿色颗粒状，吸水倍率 300~500，由山东省东营华业新材料有限公司生产；安信保水剂，白色粉末状，吸水倍率 450~500，由广东省英德市安信保水有限公司生产。

按照选用的 3 种保水剂使用说明分别配制谷子种粒混合悬浮液，如图 1 所示，其中用沃特、百力特、安信保水剂配制的种粒混合悬浮液中保水剂、种子、水的质量配比分别为 1:10:(100~150)、1:10:150、1.1:10:200。通过试验对比，用沃特保水剂配制的种粒混合悬浮液黏度小，保水剂与种粒沉于底部，种粒分布均匀性差。用百力特保水剂配制的种粒混合悬浮液黏度大，流动性差；吸水后的保水剂与种粒聚团沉于底部，种粒分布不均匀。安信保水剂主要成分是部分交联型丙烯酸盐-丙烯酸共聚物，用其配制的种粒混合悬浮液黏度适中，流动性好，吸水后的保水剂变为透明小颗粒，采用筛分法^[25]测得其粒径为 2.01 mm，谷子种子粒径均值为 2.08 mm，因二者粒径相近，故可混合充分，即谷子种粒可均匀地悬浮分散于混合液中。因此，选用安信保水剂配制谷子种粒混合悬浮液。



注：1 为用沃特保水剂配制的混合悬浮液；2 为用安信保水剂配制的混合悬浮液；3 为用百力特保水剂配制的混合悬浮液。

Note: 1 is mixed suspension by super absorbent polymers of Wote; 2 is mixed suspension by super absorbent polymers of Anxin; 3 is mixed suspension by super absorbent polymers of Bailite.

图 1 谷子种粒混合悬浮液

Fig.1 Mixed suspension of millet seeds

谷子种粒混合悬浮液中，保水剂、种子和水的混合比例应适当，既要保证种子均匀悬浮且稳定性良好，又需保证悬浮液流动性好，适合排种。为使种粒均匀悬浮，将一定量的种子和水混合后，逐渐增加保水剂用量，并测定种粒悬浮液的均匀性，保证其均匀性良好的条件下，确定保水剂用量；考虑旱地取水难，在保水剂用量确定后，逐渐增加种粒数量，保证悬浮液流动性良好的条件下，确定种粒数最大。经反复试验，确定谷子种粒混合悬浮液中保水剂、种子、水的质量配比为 1.1:10:200^[26]。在标准大气压，室温 22.8℃下，流体排种装置转速 20~73 r/min，用 DHR-1 型旋转流变仪测得保水剂悬浮液的黏度为 0.23~1.26 Pa·s。

1.2 谷子种粒混合悬浮液均匀性和稳定性测定

按照上述比例配制谷子种粒混合悬浮液，分成 6 份盛于 13 cm×8 cm×7 cm 的长方形塑料盒中，液面高度为 6 cm，静置时长 5 h，每隔 0.5 h 取样测其均匀性，具体做法为：将直径 1.2 cm 带有刻度的透明塑料管等间隔垂直插入长方形塑料盒底部，利用大气压强原理，手指紧堵上出口取出塑料管后缓慢释放，每隔 2 cm 分段滴出悬浮液，如图 2 所示，对每段混合悬浮液中的种子计数。

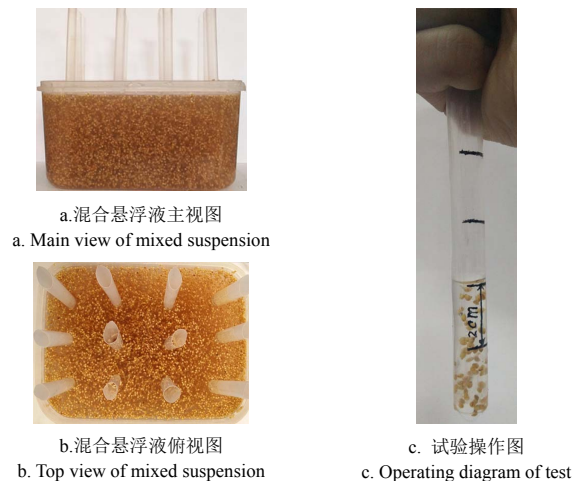


图 2 谷子种粒混合悬浮液均匀性与稳定性试验

Fig.2 Test of uniformity and steadiness for mixed suspension of millet seeds

参照 GB/T 5918-2008《饲料产品混合均匀度测定》^[27]中饲料混合均匀性计算方法，将混合悬浮液中种粒数变异系数 V 作为悬浮液均匀性的评价指标，种粒数变异系数计算方法

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad (1)$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \quad (2)$$

$$V = \frac{S}{\bar{X}} \times 100\% \quad (3)$$

式中 X_i 为第 i 个悬浮液样本中的种粒数； \bar{X} 为种粒数均值； S 为种粒数标准差； V 为种粒数变异系数，%； n 为悬浮液样本总数。

种粒数变异系数计算结果见表 1。由表 1 可知，配制

的谷子种粒混合悬浮液静置 0.5 h 后种粒数变异系数 $V=9.8\%$ ，悬浮液均匀性良好；悬浮液静置 5 h 内，种粒数变异系数范围为 9.7~10.4%、基本保持不变，种粒 5 h 内不会随时间变化而沉降，悬浮液稳定性好。

表 1 谷子种粒混合悬浮液均匀性与稳定性测定结果
Table 1 Test results of uniformity and steadiness for mixed suspension of millet seeds

时间 Time/h	种粒数均值 Average of seeds	种粒数标准差 Standard deviation of seeds	变异系数 Variable coefficient/%
0.5	38.6	3.8	9.8
1.0	38.9	4.0	10.3
1.5	36.2	3.5	9.7
2.0	37.5	3.9	10.4
2.5	37.0	3.6	9.7
3.0	39.2	3.9	10.0
3.5	36.5	3.6	9.9
4.0	38.1	3.7	9.7
4.5	37.5	3.9	10.4
5.0	39.3	3.9	9.9

1.3 谷子种粒混合悬浮液实用性分析

谷子多数种植于中国北方旱地，缺少水源，为保证流体播种的实用性，谷子流体播种时需用水少以减轻播种机质量。谷子精少量播种需种子 $4\sim7\text{ kg/hm}^2$ [28]，根据谷子种粒混合悬浮液配制比例，则流体播种需水 $80\sim140\text{ kg/hm}^2$ ，用水量适当；需保水剂 $0.5\sim0.8\text{ kg/hm}^2$ ，折合人民币 $22.0\sim38.5\text{ 元/hm}^2$ ，成本低。故所配制的谷子种粒混合悬浮液可保证流体播种的实用性。

2 流体排种装置的结构和工作原理

2.1 设计要求

本文设计的流体排种装置可完成吸种、输种、排种作业，且满足以下性能要求：1) 调节排种装置转速可改变播种穴距以适应不同的土壤墒情；2) 保证每穴谷子种粒 2~3 粒，利于出苗 [5]；3) 排种均匀，需满足小粒种子穴播技术要求即穴距合格率 $\geq 80.0\%$ 、穴粒数合格率 $\geq 75.0\%$ 、空穴率 $\leq 2.0\%$ 、种子破碎率 $< 0.5\%$ [29]；4) 在满足排种性能的基础上，尽量保证排种装置结构紧凑。

2.2 流体排种装置的基本结构和工作过程

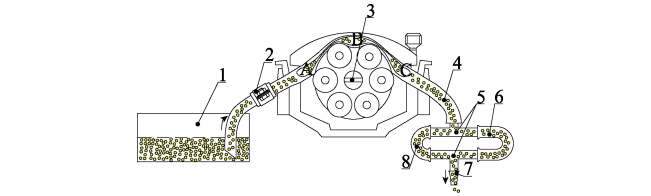
谷子精少量流体排种装置主要由种箱、限位卡、输送泵、泵管、三通管、长弯排种管、短弯排种管、末端排种管组成，如图 3 所示。其工作过程为：泵管在输送泵的作用下，抽取种液，经三通管分流至长弯、短弯排种管，再经三通管汇合，然后由末端排种管排出。输送泵为排种装置提供动力，改变输送泵转速可调节排种量。三通管作用是分流和汇合悬浮液；长弯、短弯排种管有长度差，以提高排种均匀性；末端排种管内径比三通管出口内径小，以减小每滴悬浮液的体积，保证每滴悬浮液中的种粒个数；限位卡的作用是防止泵管在输送泵泵送悬浮液时而移动。

2.3 输送泵的设计

2.3.1 输送泵基本结构与工作原理

输送泵是谷子精少量流体排种装置的关键部分，主要由转子、轴承 6001、输送泵壳体等组成，转子主要由

滚轮、滚轮轴、微型轴承 MR85zz、转动盘、转动轴组成，如图 4 所示。转动盘中心焊接有转动轴，随转动轴转动；滚轮轴焊接于转动盘，随转动盘转动；滚轮、微型轴承、滚轮轴相配合，滚轮可在 2 个转动盘间自由转动。输送泵滚轮长度 17 mm，大于泵管外径，保证泵管被完全挤压。考虑所制输送泵材料的质量、刚度、强度、防蚀性等因素，其壳体材料选用高性能热塑性树脂 PPS，转子材料选用不锈钢 304。

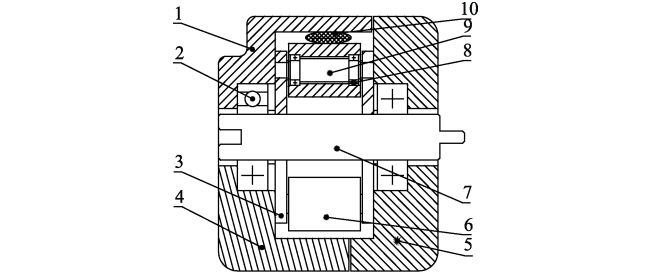


1. 种箱 2. 限位卡 3. 输送泵 4. 泵管 5. 三通管 6. 长弯排种管 7. 末端排种管 8. 短弯排种管

1. Seed box 2. Limiting clip 3. Delivery pump 4. Pump tube 5. Three-way tube 6. Long bent seed metering tube 7. End seed metering tube 8. Short bent seed metering tube

注：A、B、C 为输送泵在工作状态下吸入泵管的谷子种粒混合悬浮液。
Note: A, B and C are mixed suspension of millet seeds in pump tube when pump is working.

图 3 流体排种装置示意图
Fig.3 Structure diagram of fluid seed metering device



1. 泵壳 1 2. 轴承 3. 转动盘 4. 泵壳 2 5. 泵壳 3 6. 滚轮 7. 转动轴 8. 微型轴承 9. 滚轮轴 10. 泵管

1. Shell 1 of pump 2. Bearing 3. Rotating disk 4. Shell 2 of pump 5. Shell 3 of pump 6. Roller 7. Rotating shaft 8. Miniature bearing 9. Roller shaft 10. Pump tube

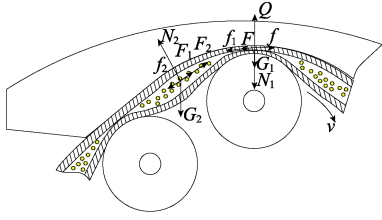
图 4 输送泵结构简图
Fig.4 Structure diagram of delivery pump

由图 4、5 可知，输送泵工作时，输送泵内转动盘随转动轴转动，滚轮随转动盘转动并挤压泵管，泵管沿圆周方向位于壳体与滚轮之间且受挤压合力 Q 的作用，随着滚轮的转动，先前被挤压的泵管恢复原形，使管内形成负压，将混合悬浮液看成整体，其受到管壁的推力 F_1 和因负压产生的吸力 F_2 而流动，在交替挤压过程中将其排出。泵送悬浮液的整个过程是滚轮挤压泵管、管内形成负压与泵送悬浮液。输送泵壳体与转子滚轮之间的径向间隙为 3.2 mm，滚轮挤压泵管时，因混合悬浮液具有黏性且流动性良好，泵管被挤压处混合悬浮液已移动，输送泵不易损伤种粒。

2.3.2 输送泵转子滚轮数目的确定

排种装置的脉动性即输送泵的脉动性，由其自身结构所决定。混合悬浮液被输送的过程中，由图 3 可知，滚轮挤压泵管形成“流体枕 A、流体枕 B、流体枕 C”，各流体枕被滚轮交替挤压，泵管内的混合悬浮液呈间歇

性流动状态, 产生了排种装置的脉动性。为提高排种装置的排种均匀性, 要尽量减小其脉动性。



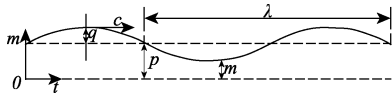
注: v 为转子的速度, $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$; Q 为滚轮对泵管的挤压力, N ; N_1 为输送泵壳体对泵管的弹力, N ; G_1 为泵管被挤压处的重力, N ; f 为滚轮对泵管的摩擦力, N ; f_1 为壳体对泵管的摩擦力, N ; F 为限位卡对泵管的约束力, N ; F_1 为滚轮对悬浮液的推力, N ; F_2 为混合悬浮液因负压所受吸力, N ; f_2 为混合悬浮液所受阻力, N ; G_2 为该腔混合悬浮液所受重力, N ; N_2 为泵管对悬浮液的弹力, N 。

Note: v is velocity of rotor, $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$; Q is extrusion force on tube from roller, N ; N_1 is elastic force on tube from shell, N ; G_1 is gravity of tube in squeezed place, N ; f is friction on tube from roller, N ; f_1 is friction on tube from shell, N ; F is binding force on tube from limiting clip, N ; F_1 is thrust on mixed suspension from roller, N ; F_2 is suction of mixed suspension because of negative pressure, N ; f_2 is resistance of mixed suspension, N ; G_2 is gravity of mixed suspension in this cavity, N ; N_2 is elastic force on mixed suspension from tube, N 。

图 5 泵管和混合悬浮液受力示意图

Fig.5 Force diagram of pump tube and mixed suspension

增大排种装置的脉动频率可减小排种装置的脉动性。增大脉动频率即增大泵管在输送泵某一转速下单位时间内的形变次数。根据流体蠕动传输原理, 忽略泵管的厚度, 仅考虑泵管边界的形变驱使混合悬浮液流动, 则可用二维正弦波模型来表述泵管边界的形变模型^[30-31], 如图 6 所示。



注: 泵管成轴对称性, 图为泵管上边界的变形。 p 为泵管的初始半径, mm ; q 为波动幅值, mm ; λ 为波长, mm ; c 为泵管波动速度, $\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$; m 为滚轮挤压后的泵管半径, mm ; t 为波动时间, s 。

Note: Pump tube is the axial symmetry, this picture represents deformation of upper boundary for pump tube. p is initial radius of the pump tube, mm ; q is amplitude of fluctuation, mm ; λ is wave length, mm ; c is wave velocity of pump tube, $\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$; m is radius of extruded pump tube by roller, mm ; t is wave time, s 。

图 6 泵管边界形变模型

Fig.6 Model of deformation of pump tube boundary

泵管被滚轮挤压后的半径 m 可表示为

$$m(t) = p + q \sin \frac{2\pi ct}{\lambda} \quad (4)$$

泵管半径变化率可表示为

$$m'(t) = \frac{2\pi cq}{\lambda} \cos \frac{2\pi ct}{\lambda} \quad (5)$$

式中 p 为泵管的初始半径, mm ; q 为波动幅值, mm ; λ 为波长, mm ; c 为泵管波动传播速度, mm/s ; m 为滚轮挤压后的泵管半径, mm ; t 为波动时间, s 。

由式 (5) 可知, 增加波动幅值 q 或减小波长 λ 可增大泵管半径变化率。本文采用减小波长 λ 的方法来增大脉动频率, 在输送泵转子直径不变的前提下, 增加其滚轮个数可减小波长从而增大了泵管半径变化率, 泵管形变速率加快, 即增大了脉动频率, 输送泵脉动性降低, 其

输送混合悬浮液的均匀性提高。综合考虑排种均匀性、输送泵结构型式、加工工艺、制造成本和泵管使用寿命等确定输送泵转子滚轮个数为 6 个。

2.4 排种管的设计

排种管主要由泵管、长弯排种管、短弯排种管、末端排种管等组成。排种管要求内壁摩擦小、适合泵送种粒混合悬浮液且使用寿命长, 选用圣戈班 TYGON®R-3603 硅胶软管作为排种管。

2.4.1 排种管直径的确定

排种过程中, 悬浮液充满排种管, 要求排种管内径大于种子最大长度。谷子种子长度、宽度、厚度一般范围分别为 $2.14 \sim 3.50 \text{ mm}$ 、 $1.48 \sim 2.09 \text{ mm}$ 、 $1.18 \sim 1.80 \text{ mm}$ ^[32], 且浸泡 5 h 后测得谷子种粒长度、宽度、厚度分别增加了 1.3%、0.83%、0.14%, 变化很小。根据谷子种子外形尺寸确定泵管内径 4.8 mm , 壁厚 1.6 mm ; 长弯排种管、短弯排种管、末端排种管内径均为 4.0 mm , 壁厚 1.0 mm ; 三通管上(下)通口内径 4.8 mm , 壁厚 1 mm , 左(右)通口内径 6.9 mm , 壁厚 1 mm 。泵管、长弯排种管、短弯排种管、末端排种管为弹性软管, 可直接紧套于三通管, 密封效果好。其中泵管与输送泵转子滚轮直接接触, 要求其弹性好, 使用寿命长, 故其内径与壁厚均大于长弯、短弯排种管。

农艺试验结果表明, 种穴内有 2~3 粒谷子种粒时, 利于出苗^[5]。末端排种管内径小于三通管下通口内径, 其作用是减小每滴悬浮液的体积, 从而减少每滴悬浮液中的种粒个数, 保证每滴悬浮液中的种粒数 2~3 粒。排种管每排出 1 mL 悬浮液所需滴数, 即排种管滴系数^[33]。末端排种管内径减小, 增加其滴系数, 减少了每滴悬浮液体积, 从而减少了每滴悬浮液中的种粒数。经试验统计计算, 混合悬浮液由内径 4.8 mm 的三通管直接排出, 其滴系数为 3.6, 每滴悬浮液中平均有种粒 4.2 粒; 内径 4 mm 的排种管排出, 其滴系数为 5.2, 每滴悬浮液中平均有种粒 2.9 粒, 符合谷子播种农艺要求, 故确定末端排种管内径为 4 mm 。

2.4.2 排种管的组合结构

在输种过程中, 输送泵滚轮挤压泵管, 为输送种粒悬浮液提供动力, 悬浮液克服阻力而流动, 泵管越长, 能量损失越大, 输送泵泵送悬浮液的能力越弱, 故泵管长度应尽量短; 本文兼顾流体排种装置总体结构, 设计的泵管长度为 700 mm 。末端排种管保证每滴悬浮液中的种粒数, 根据流体排种装置结构, 设计其长度为 20 mm 。

输送泵滚轮交替挤压泵管时造成排种管中混合悬浮液间歇性流动, 形成脉动。本文通过设计分合式排种管组合结构, 进一步减小了流体排种装置的脉动性。由图 3 可知, 输送泵工作时, 滚轮挤压泵管影响悬浮液均匀流动, A、B、C 三腔中充满悬浮液, 分别将其看成一个整体, 且聚集各腔中间, 可知 A、B、C 三腔中混合悬浮液排出后的间隔为相邻两滚轮的间隔即图 6 中泵管边界形变模型中的波长 λ , 减小波长 λ 可增大输送泵泵送悬浮液的脉动频率, 从而进一步减小排种装置的脉动性。本文设计长弯排种管、短弯排种管、三通管组合, 则混合悬

浮液可由三通管分流经长弯、短弯排种管后再由三通管汇合至末端排种管排出。长弯、短弯排种管有一定的长度差,则某一腔中的混合悬浮液分流经长弯、短弯排种管后流至末端排种管时形成了一定的路程差,从而改变了波长 λ 。

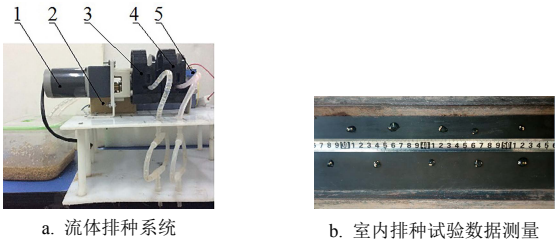
本文设计长弯、短弯排种管的长度差为 $\lambda/2=25.6\text{ mm}$,考虑流体排种装置总体结构,长弯、短弯排种管长度分别为 100 mm 、 74.4 mm ,经试验,该结构有效减小了相邻两腔混合悬浮液排出后的间隔,从而减小了波长 λ ,增大了输送泵泵送悬浮液的脉动频率,提高了排种均匀性。

3 室内排种试验与结果分析

3.1 材料与设备

试验材料选用在山西省种植广泛且产量稳定的晋谷 21 号,太谷农业科技市场购买,其含水率 10.2%,千粒质量 3.27 g,经保水剂处理后的种子发芽率为 92.0%,未处理种子发芽率为 90.5%。

试验设备为排种试验系统,主要由电机牵引系统、导轨、黑色橡胶板、流体排种系统组成。电机牵引系统由 12 V 直流电机、调速器、可移动试验平台、滑轮、牵引绳等组成;流体排种系统主要由 12 V 直流电机、12 V 直流电源、调速器、流体排种装置等组成,如图 7a 所示,其中流体排种装置为一器一行式;其他试验仪器有 HS2234 非接触式转速表,转速 2.59~999.9 r/min 可调,分辨率:0.1 r/min、卷尺等。



a. Test system of fluid seed metering device b. Measurement of laboratory test data

1. 直流电机 2.调速器 3. 流体排种装置 1 4. 流体排种装置 2 5. 直流电源
1. DC motor 2. Governor 3. Fluid seed metering device 1 4. Fluid seed metering device 2 5. DC power

注: a 图中流体排种系统由两排种装置串联而成, b 图呈现了两排种装置的排种分布情况。

Note: The system in fig.a consists of two fluid metering devices which are series connected, fig.b presented metering distribution of two fluid metering devices.

图 7 室内排种试验

Fig.7 Seeding test of laboratory

3.2 试验方法

3.2.1 排种均匀性试验测定

该试验在排种试验系统下完成,流体排种装置安装于可移动试验平台,在电机牵引下以设定速度作匀速直线运动,混合悬浮液由排种装置排至黑色橡胶板,每滴悬浮液作为一穴种子,相邻两滴悬浮液几何中心距离为一穴距,如图 7b 所示。本文针对山西省丘陵山区的地形特点与旱地谷子免间苗精少量播种的要求,设定理论穴距 5、6.5、8 cm,播种作业速度 2 km/h 左右,故设定排种试验中电机牵引速度分别为 0.3、0.5、0.7 m/s,调节排种装置转速,使其匹配电机牵引速度以保证试验穴距接

近理论穴距,相对误差小于 10%,经大量反复试验确定排种装置转速为 20~73 r/min。每次试验记录 251 穴中的种粒数,连续测量 250 个穴距,重复试验 5 次,参照 NY/T 987-2006《铺膜穴播机 作业质量》^[29],计算穴粒数合格率、穴距合格率、空穴率。传统穴播机播种穴距控制精确,本文设计的流体排种装置排种后穴距有偏差,试验数据处理中,理论穴距值 $\pm 1.5\text{ cm}$ 为合格穴距范围,其中穴距合格率、穴粒数合格率、空穴率计算公式如下

穴距合格率 $H_x = \frac{x_h}{e-1} \times 100\%$ (6)

穴粒数合格率 $H_l = \frac{l_h}{e} \times 100\%$ (7)

空穴率 $H_k = \frac{k_h}{e} \times 100\%$ (8)

式中 x_h 为合格穴距个数; l_h 为一穴 2~3 粒谷子种粒的总穴数; k_h 为一穴 0 粒谷子种粒的总穴数; e 为每次试验测定总穴数。

3.2.2 种粒破碎率试验测定

试验前观察挑取未损伤的谷子种粒,配制谷子种粒混合悬浮液,待 0.5 h,种粒均匀悬浮后,设定排种装置转速为 20~73 r/min,进行静态排种试验,在各转速下收集 200 mL 悬浮液,挑出种粒计数,并选出其中破碎损伤的种粒计数,重复试验 5 次,计算种粒破碎率。种粒破碎率计算公式如下

$Z = \left(\frac{W_p}{W_y} - Z_y \right) \times 100\%$ (9)

式中 Z 为种粒破碎率,%; W_p 为样本中破损种粒个数; W_y 为样本种粒总数; Z_y 为种粒原始破碎率。

3.3 试验结果与分析

室内排种试验结果见表 2。

表 2 室内排种试验结果
Table 2 Results of seeding test of laboratory

行进速度 Marching g speed/ (m·s ⁻¹)	排种转速 Rotate speed/ (r·min ⁻¹)	理论穴距 Theoret- ical hole distance /cm	穴距均值 Average hole distance /cm	穴粒数均值 Average seeds per hole	穴距合格率 Hole distance qualified rate/%	穴粒数合格率 Qualified rate of seed number per hill/%	空穴率 Rate of no seed hill/%	种粒破碎率 Percent- age of damage/ %
0.3	20	8	8.12	2.74	88.00	80.08	2.78	0
	32	6.5	6.69	2.58	86.40	75.70	3.19	0
	40	5	4.98	2.66	87.20	76.49	2.78	0
0.5	40	8	7.78	3.00	87.60	80.08	1.20	0
	53	6.5	6.37	2.48	91.20	80.48	1.99	0
	60	5	5.49	2.63	90.00	81.67	3.19	0.006 6
0.7	50	8	8.33	2.73	94.00	79.28	3.19	0
	64	6.5	6.31	2.64	92.80	79.68	3.98	0.006 6
	73	5	5.20	2.67	88.40	82.07	3.59	0.009 8

由表 2 可知,流体排种装置在所设行进速度与排种转速下,平均穴距为 4.98~8.33 cm,平均穴粒数为 2.48~3.00 粒;其中穴距合格率均大于 86%,穴粒数合格率均

大于 75%，在行进速度 0.5 m/s，排种转速为 40、53 r/min 时空穴率小于 2%，以上试验结果满足 NY/T 987-2006《铺膜穴播机作业质量》^[33]中小颗粒种子穴播的要求；其余行进速度和排种转速下空穴率大于 2%且小于 4%，有待进一步改进。当排种装置转速大于 60 r/min 时，发现有损伤的谷子种粒，但损伤的种粒很少（<0.01%），设计试制的谷子流体排种装置不易伤种。

4 田间播种试验与结果分析

4.1 试验条件与方法

针对山西省丘陵山区的种植模式，本文自制了手推式小型谷子流体播种样机，于 2016 年 5 月在山西省榆社县进行田间播种试验，如图 8 所示。试验地条件：旱地，土壤质地为砂壤土，含水率为 15.4%；整地后有少量土块与遗留根茬；播种机地轮滑移率 8.75%，作业速度 0.5 m/s 左右；当地种植制度为一年一熟，播种行距 25 cm，开沟深度 5 cm。由人推播种机为其提供动力，在排种装置转速 40、53、60 r/min 下分区播种，每小区面积约 0.04 hm²。出苗齐整后每小区随机挑选 5 行，每行测量 251 穴苗株数，250 个穴距。试验数据处理中，理论穴距值±1.5 cm 为合格穴距范围，每穴出苗 2~3 株为穴株数合格，计算穴株数合格率、穴距合格率。

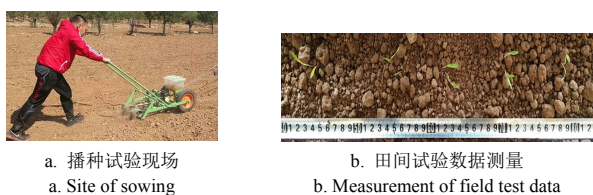


图 8 田间播种试验

Fig.8 Field test of sowing

播种前统计播种量，待出苗齐整后，将边长为 1 m 的正方形框随机放置每小区 10 次，记录每平方米内的出苗数，求其均值，换算成小区面积下的出苗数，再除以播种量，测定出苗率。

4.2 试验结果与分析

田间播种试验结果见表 3。

表 3 田间播种试验结果
Table 3 Field test results of sowing

排种 转速 Rotate speed/ (r·min ⁻¹)	理论穴距 Theoretical hole distance/cm	穴距均值 Average hole distance/cm	穴株数 均值 Average plants per hole	穴距 合格率 Hole distance qualified rate/%	穴株数 合格率 Qualified rate of plant number per hill /%	出苗率 Seedling emergen- ce rate/%
40	8	8.53	2.65	82.00	74.90	89.14
53	6.5	6.41	2.54	81.60	77.29	87.64
60	5	5.88	2.13	77.20	76.49	88.22

由表 3 可知，以谷子流体排种装置为核心设计的小型谷子流体播种机在人推作业下，出苗率大于 87%；平均穴株数为 2.13~2.65 株，平均穴距为 5.88~8.53 cm；其中穴距合格率均大于 77%；穴株数合格率均大于 74%。田间试验工作环境劣于室内排种工作环境、种子出苗不

全等导致田间试验结果与室内排种试验结果相差较大。因悬浮液具有黏性，谷子流体播种机排其至种沟，定位准确，成穴效果好。

5 结 论

1) 本文选用安信保水剂配制谷子种粒混合悬浮液，混合悬浮液中保水剂、谷子种粒、水质量比为 1.1:10:200，悬浮液静置 5 h 内，种粒数变异系数为 9.7~10.4%，且未发生沉降现象，其均匀性、稳定性良好，达到了谷子流体播种的要求。

2) 本文设计的谷子流体排种装置中，6 滚轮输送泵和分合式排种管组合结构减小了流体排种装置的脉动性，提高了排种均匀性。

3) 室内排种试验表明：流体排种装置在所设行进速度 0.3~0.7 m/s 和排种转速 20~73 r/min 下，平均穴距范围 4.98~8.33 cm，平均穴粒数范围 2.48~3.00 粒，穴距合格率均大于 86%，穴粒数合格率均大于 75%，空穴率均小于 4%，种粒破碎率低，排种均匀，工作性能可靠。

4) 田间播种试验表明：自制的流体播种机在人推作业下，平均穴距范围 5.88~8.53 cm，平均穴株数范围 2.13~2.65 株，穴距合格率均大于 77%，穴株数合格率均均大于 74%，出苗率大于 87%，基本满足谷子免间苗精少量播种的农艺要求。

本文设计的谷子流体排种装置结构简单，试验指标基本达到谷子精少量播种的要求，为谷子流体播种技术及装备的研发提供参考。但是未深入分析谷子种粒混合悬浮液在输送过程中的动力学特性，将在下一步工作中继续研究探讨。

[参 考 文 献]

- [1] 李顺国, 刘斐, 刘猛, 等. 我国谷子产业现状、发展趋势及对策建议[J]. 农业现代化研究, 2014, 35(5): 531—535. Li Shunguo, Liu Fei, Liu Meng, et al. The current industry situation, development trend, and suggestions for the future of foxtail millet in China[J]. Research of Agricultural Modernization, 2014, 35(5): 531—535. (in Chinese with English abstract)
- [2] 杜文娟, 李萍, 张喜文, 等. 山西谷子播种技术与装备研究进展与发展方向[J]. 农机化研究, 2015, 37(7): 6—10, 17. Du Wenjuan, Li Ping, Zhang Xiwen, et al. Research progress and development direction of Shanxi millet seeding technology and equipment[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2015, 37(7): 6—10, 17. (in Chinese with English abstract)
- [3] 田岗, 王玉文, 李会霞, 等. 山西省谷子产业现状及发展对策[J]. 山西农业科学, 2013, 41(3): 299—300, 306. Tian Gang, Wang Yuwen, Li Huixia, et al. Current situation and development measures for millet industry in Shanxi province[J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2013, 41(3): 299—300, 306. (in Chinese with English abstract)
- [4] 李顺国, 刘猛, 赵宇, 等. 河北省谷子产业现状和技术需求及发展对策[J]. 农业现代化研究, 2012, 33(3): 286—289.

- Li Shunguo, Liu Meng, Zhao Yu, et al. Industry situation, technology need and development suggestion of foxtail millet in Hebei province[J]. Research of Agricultural Modernization, 2012, 33(3): 286—289. (in Chinese with English abstract)
- [5] 任丽敏. 基于农机农艺结合的谷子少(免)间苗播种试验研究[D]. 山西: 山西农业大学, 2014: 1—52.
- Ren Limin. Research of Seedling Thinning Sowing Test for Foxtail Millet with Agricultural Machinery Combined with Technology[D]. Shanxi: Shanxi Agricultural University, 2014: 1—52. (in Chinese with English abstract)
- [6] 张东光, 郭玉明, 郑德聪, 等. 2BX-10 型小籽粒精少量播种机的研制[J]. 山西农业大学学报(自然科学版), 2010, 30(5): 459—463.
- Zhang Dongguang, Guo Yuming, Zheng Decong, et al. Design of the 2BX-10 hill-drop drill for small grains[J]. Journal of Shanxi Agricultural University(Natural Science Edition), 2010, 30(5): 459—463. (in Chinese with English abstract)
- [7] 崔清亮, 侯华铭, 郑德聪, 等. 倾斜圆盘式谷子精少量播种器的设计与试验[J]. 农业工程学报, 2016, 32(12): 17—23.
- Cui Qingliang, Hou Huaming, Zheng Decong, et al. Design and test of tilt disc-type fine and small-amount seed metering device for foxtail millet[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2016, 32(12): 17—23. (in Chinese with English abstract)
- [8] 边胤, 马永康, 张振国. 往复式排种器用于谷子精密播种机的初探[J]. 农业工程学报, 2007, 23(2): 122—127.
- Bian Yin, Ma Yongkang, Zhang Zhenguo. Reciprocating feeder applied to precision seed-grain sowing machines[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2007, 23(2): 122—127. (in Chinese with English abstract)
- [9] 张宇文. 机械式多功能精密排种器的设计[J]. 农业机械学报, 2005, 36(3): 51—53, 50.
- Zhang Yuwen. Research and design for making a new type of mechanized and multiple functions of precision seed-drilled appliance[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2005, 36(3): 51—53, 50. (in Chinese with English abstract)
- [10] 廖庆喜, 张猛, 余佳佳, 等. 气力集排式油菜精量排种器[J]. 农业机械学报, 2011, 42(8): 30—34.
- Liao Qingxi, Zhang Meng, Xu Jiajia, et al. Pneumatic centralized metering device for rapeseed[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(8): 30—34. (in Chinese with English abstract)
- [11] 廖庆喜, 张宁, 张朋玲, 等. 一器多行离心式油菜排种器[J]. 农业机械学报, 2012, 43(2): 49—51, 95.
- Liao Qingxi, Zhang Ning, Zhang Pengling, et al. Centrifugal metering device for rapeseed[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(2): 49—51, 95. (in Chinese with English abstract)
- [12] 秦理平, 马过胜, 赵振军. 谷子机械化精少量播种的实践与创新[J]. 农业技术与装备, 2013(11): 73—77.
- Qin Liping, Ma Guosheng, Zhao Zhenjun. Practice and innovation of mechanized precision sowing for millet[J]. Agricultural Technology Equipment, 2013(11): 73—77. (in Chinese with English abstract)
- [13] 张本源. 带清种槽窝眼式谷子精少量播种机的研究[J]. 农业机械, 2014(1): 138—141.
- Zhang Benyuan. Research of indented precision seeder with cleaning groove for millet[J]. Agricultural machinery, 2014(1): 138—141. (in Chinese with English abstract)
- [14] 王磊, 廖宜涛, 韦跃培, 等. 基于气力式精量排种器的谷子吸种与排种试验[J]. 湖南农业大学学报, 2014, 40(6): 655—659.
- Wang Lei, Liao Yitao, Wei Yuepei, et al. Seed-grain sucking and metering test based on pneumatic precision metering device[J]. Journal of Hunan Agricultural University, 2014, 40(6): 655—659. (in Chinese with English abstract)
- [15] 吴德瑜. 浅谈流体播种[J]. 作物杂志, 1995(1): 31—32.
- Wu Deyu. Discussion on fluid seeding[J]. Crops, 1995(1): 31—32. (in Chinese with English abstract)
- [16] 李国强. 适于旱作地区使用的播种新技术—液体播种技术[J]. 当代农机, 2005(3): 15.
- [17] Pill W G. Seedling emergence and yield from hydrated collard seeds fluid-drilled in high-phosphorus gel[J]. Hortscience, 1990, 25(12): 1589—1592.
- [18] Pill W G. Advances in fluid drilling[J]. Horttechnology, 1991, 1(1): 59—65.
- [19] 李云开, 杨培岭, 刘洪禄, 等. 保水剂农业应用及其效应研究进展[J]. 农业工程学报, 2002, 18(2): 182—187.
- Li Yunkai, Yang Peiling, Liu Honglu, et al. Review on super absorbent polymers application in agriculture and its effects[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2002, 18(2): 182—187. (in Chinese with English abstract)
- [20] 罗学刚, 王正前. 保水剂对旱地作物种子发芽的影响[J]. 种子, 1992(3): 35—38.
- Luo Xuegang, Wang Zhengqian. The effect of some cultivation measures on protein of wheat grains[J]. Seed, 1992(3): 35—38. (in Chinese with English abstract)
- [21] 张艳丽, 于彩霞, 李立军, 等. 施用保水剂对谷子抗旱保苗及产量的影响[J]. 中国农学通报, 2014, 30(18): 238—244.
- Zhang Yanli, Yu Caixia, Li Lijun, et al. Effects of super absorbent polymer to drought resistance, seedling and yield of millet[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2014, 30(18): 238—244. (in Chinese with English abstract)
- [22] 米俊珍, 刘景辉, 李立军, 等. 保水材料对旱作谷子苗期生长特性及土壤水分的影响[J]. 作物杂志, 2014(4): 105—111.
- Mi Junzhen, Liu Jinghui, Li Lijun, et al. The effect of water-etaining material on growth characteristics and soil-moisture of dry-farmland millet seedlings[J]. Crops, 2014(4): 105—111. (in Chinese with English abstract)
- [23] 辛明金, 宋玉秋, 任文涛, 等. 玉米流体穴播关键技术及排种装置研究[J]. 农机化研究, 2008(3): 165—167.
- Xin Mingjin, Song Yuqiu, Ren Wentao, et al. Study on maize fluid hilling mechanism and metering device[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2008(3): 165—167. (in Chinese with English abstract)
- [24] 李岩. 小籽粒流体排种的试验研究[D]. 太谷: 山西农业大学, 2013: 1—47.
- Li Yan. Experimental Study of Fluid Seeding for Small-sized Seed[D]. Taigu: Shanxi Agricultural University, 2013: 1—47. (in Chinese with English abstract)
- [25] 辛明金. 玉米流体穴播技术及其装置的研究[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2008: 1—129.
- Xin Mingjin. Study on Technology and Device of Aaize Seed

- Fluid Hilling[D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2008: 1—129. (in Chinese with English abstract)
- [26] 王丰. 小籽粒精少量流体排种装置的改进设计与试验[D]. 太谷: 山西农业大学, 2015: 1—65.
- Wang Feng. Improvement Design and Test of Amount of Fluid Seeding Metering Device for Small Grain[D]. Taigu: Shanxi Agricultural University, 2015: 1—65. (in Chinese with English abstract)
- [27] GB/T 5918-2008, 饲料产品混合均匀度测定[S].
- [28] 张东光, 郭玉明, 郑德聪. 谷子机械化精少量种植工艺的研究[J]. 山西农业大学学报(自然科学版), 2011, 31(6): 563—567.
- Zhang Dongguang, Guo Yuming, Zheng Decong. Research on mechanized hill-drop planting processes for millet[J]. Journal of Shanxi Agricultural University(Natural Science Edition), 2011, 31(6): 563—567. (in Chinese with English abstract)
- [29] NY/T 987-2006, 铺膜穴播机 作业质量[S].
- [30] Hayat T, Wang Y, Siddiqui AM, et al. Peristaltic transport of a third-order fluid in a circular cylindrical tube[J]. Mathematical Models & Methods in Applied Sciences, 2002, 12(12): 1691—1706.
- [31] Li M, Brasseur J G. Non-steady peristaltic transport in finite-length tubes[J]. Journal of Fluid Mechanics, 1993, 248: 129—151.
- [32] 张燕青, 崔清亮, 王丰, 等. 小籽粒种子排种物理机械特性参数的测量[J]. 山西农业大学学报(自然科学版), 2016, 36(3): 224—228.
- Zhang Yanqing, Cui Qingliang, Wang Feng, et al. Measurement of physical and mechanical parameters for the small seed seeding[J]. Journal of Shanxi Agricultural University(Natural Science Edition), 2016, 36(3): 224—228. (in Chinese with English abstract)
- [33] 朱秀梅. 输液滴数与滴系数[J]. 中国医药指南, 2012, 10(30): 380.

Design and test of fluid and small-amount seed metering device for foxtail millet

Zhang Yanqing¹, Cui Qingliang^{1*}, Wang Feng², Hou Huaming¹, Hu Xizhong¹

(1. College of Engineering, Shanxi Agricultural University, Taigu 030801, China;

2. College of Information, Shanxi Agricultural University, Taigu 030800, China)

Abstract: In order to solve the difficulties of sowing for foxtail millet and improve the low germination rate of millet after sowing in dry land of North China, we firstly studied the agricultural requirements of precision drill of millet without thinning out seedlings. We prepared a mixed suspension of foxtail millet using water and agricultural super absorbent polymers, because the agricultural super absorbent polymers can promote crop growth. We did some experiments to find suitable super absorbent polymers and the optimal proportion for mixed suspension according to the requirement of fluid seeding. At the same time we designed a kind of seed metering device by small-amount liquid for foxtail millet. This paper determined the number of rollers, dimension parameter and combination form of tube. It also expounded sucking seeds, delivering seeds and metering seeds of this seed metering device. This device consists of seed box, delivery pump, pump tube, three-way tube, long bent tube, end drainage tube and short bent tube. The function of delivery pump is providing power for the seed metering device, the function of three-way tube is dividing and combining the mixed suspension, the long bent tube or the short bent tube can improve the uniformity of seeding, and the end drainage tube can decrease every drop volume of mixed suspension to ensure that every drop has 2-3 seeds. Because the delivery pump has impulsive motion, we greatly reduced the impulsive motion of this device by using 6 rollers of delivery pump and designing the structural style of tube, which has long bent tube, short bent tube, three-way tube and end drainage tube. The length of long bent tube is 100 mm, and the length of short bent tube is 74.4 mm. We also chose the material and diameter of tube. The material of tube is silica gel, which has the advantages of good elasticity and long service life. The diameter of pump tube, long bent tube, short bent tube and end drainage tube is 4.8, 4, 4 and 4 mm, respectively. Finally we designed and conducted the experiments of the uniformity and steadiness for mixed suspension of millet, and the variability coefficient of seed number was adopted. And we performed the performance tests with 4 indices adopted, including the percentage of damaged seeds, qualified rate of hill distance, qualified rate of seed number per hill, and rate of no seed hill for seed metering device in laboratory. We also carried out the field experiment of sowing with 3 indices including the qualified rate of hill distance, qualified rate of plant number per hill and seedling emergence rate for this device. The results showed that the suitable agricultural super absorbent polymer was Anxin for preparing the mixed suspension of foxtail millet, and the quality ratio of super absorbent polymers, grain of millet seed and water was 1.1 : 10 : 200 in mixed suspension; the variability coefficient of seed number was 9.8% in this mixed suspension, and was 9.7%-10.4% within 5 hours, and the seeds in mixed suspension had no obvious settlement. The percentage of damaged seeds was less than 0.01%, the qualified rate of hill distance was greater than 86%, the qualified rate of seed number per hill was greater than 75%, and the rate of no seed hill was less than 4% in laboratory test. The qualified rate of hill distance was greater than 77%, the qualified rate of plant number per hill was greater than 74%, and the seedling emergence rate was greater than 87% in field experiment of sowing. The results provide a theoretical reference for the design and analysis of seed metering device by small-amount liquid for small grain seeds.

Keywords: agricultural machinery; design; experiments; seed metering device; sowing; fluid; foxtail millet; super absorbent polymers