

电晕场与介电分选提高水稻种子活力

徐江¹, 谭敏², 张春庆², 李法德^{1*}

(1. 山东农业大学机械与电子工程学院, 泰安 271018; 2. 山东农业大学农学院, 泰安 271018)

摘要: 为研究电晕场和介电分选对水稻种子活力的影响, 该文利用弧形芒刺电极与下极板形成的电晕场对水稻种子在不同高压下进行处理, 处理时间为 4 min, 结果显示, 处理后水稻种子的活力有显著提高, 并在 17 500 V (DC) 时取得较优值; 利用介电分选机在不同的分选电压下对水稻种子进行介电分选, 选滚筒转速为 25 r/min, 结果发现, 分选机对水稻种子有较好的分选效果, 并且当分选电压为 4 000 V (DC) 时, 分选获得的 I 级水稻种子的活力最高。在上述最优条件下, 先利用电晕场对水稻种子进行电晕场处理, 再利用介电分选机对电晕场处理后的水稻种子进行介电分选, 结果表明: 水稻种子的各活力指标均高于只进行分选时的活力指标, 其中 II 级和 III 级种子的活力指标有明显的提高, 且 II 级种子的活力指标较对照有显著提高 ($P < 0.01$ 或 0.05), 这也说明电晕场处理对低活力种子效果较好。同时, 通过记录水稻种子每天的发芽数发现, 电晕场处理和介电分选都能使水稻种子约提前 1 天发芽。这对后期研制电晕场与介电分选组合处理机提供了数据支持。

关键词: 种子, 分选, 介电特性, 水稻, 电晕场, 种子活力

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2013.23.032

中图分类号: S125

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2013)-23-0233-08

徐江, 谭敏, 张春庆. 电晕场与介电分选提高水稻种子活力[J]. 农业工程学报, 2013, 29(23): 233—240.
Xu Jiang, Tan Min, Zhang Chunqing, et al. Improving paddy seed vigor by corona discharge field processing and dielectric separation[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2013, 29(23): 233—240. (in Chinese with English abstract)

0 引言

随着生物物理学在农业领域上的应用, 它以见效快, 无污染, 耗能低等优点越来越受到人们的重视^[1]。电场处理和介电分选就是物理农业典型的例子, 目前国内外利用电场处理植物种子已有较多的研究, 研究证明电场处理可以使种子内部酶活性提高, 促进膜修复, 提高种子活力, 减轻发育过程中细胞膜对干旱胁迫的敏感性等^[2-9], 同时利用电晕场处理种子也有研究^[10-15]。介电分选是根据不同种子所含化学成分及生命力不同, 反映到种子的电学特性(如电导率、介电常数以及极化特性等)均有差异, 从而按种子活力的大小进行分选, 因此, 借助合理的电磁场分选装置来放大这种差异来分选种子, 达到除去破碎种子、杂质的目的, 可明显提高种子纯

度^[15-16], 中国在介电分选方面起步较晚, 但取得了一定的研究成果^[17-20]。

目前对水稻种子进行电场处理和介电分选已有研究^[21-23], 但将电晕场处理和介电分选 2 种处理方式组合起来研究则较少^[15,24], 本文主要探讨了电晕场、介电分选及组合处理水稻种子对其发芽势、发芽率、发芽指数、活力指数 4 个活力指标和发芽速度的影响, 并为后续电场处理及介电分选组合处理设备的研制提供数据支持。

1 材料与方法

1.1 材料

均匀饱满的天优 3 号种子, 由山东农业大学农学院提供, 初始含水率为 $(13\% \pm 0.3\%)$ 。

1.2 试验装置

1.2.1 高压电场处理试验装置

如图 1 所示, 水稻种子处理装置主要由 YDJ-50 型交流试验变压器(北京互感器厂)、2CL 高压硅堆(北京金江森电子技术研究所)、FRC-100 型高压测量器(北京丰源高压电器厂)、2 mA 数显电流表(杭州沙龙电子公司)、弧形芒刺电极阵列和下极板等组成。芒刺尖端距不锈钢下极板(接地)的距离为 50 mm。处理时水稻种子平铺在下极板上, 通过调节交流试验变压器旋钮调节输入电压。

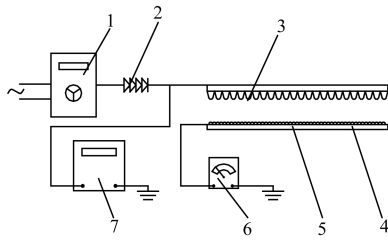
收稿日期: 2013-03-30 修订日期: 2013-10-29

基金项目: 杂交制种技术与关键设备研制与示范项目, 公益性行业科研专项(201203052)。

作者简介: 徐江(1988—), 男, 山东潍坊人, 研究方向: 农业机械设计及理论。泰安 山东农业大学机械与电子工程学院, 271018。

Email: xu903524569@163.com

*通信作者: 李法德(1962—), 男, 山东潍坊人, 教授, 博士, 博士生导师, 中国农业工程学会高级会员(E0412000515S), 主要从事新型农业装备、农产品加工机械的优化设计与开发, 食品物料电特性和加工新技术等方面的研究。泰安 山东农业大学机械与电子工程学院, 271018。Email: lifade@sdaue.edu.cn



1. 交流试验变压器 2. 高压硅堆 3. 弧形芒刺电极 4. 下极板
5. 水稻种子 6. 电流表 7. 高压测量器
1. AC transformer 2. Diode 3. Prick electrodes 4. Bottom plate
5. Paddy seeds 6. Ammeter 7. High voltage meter

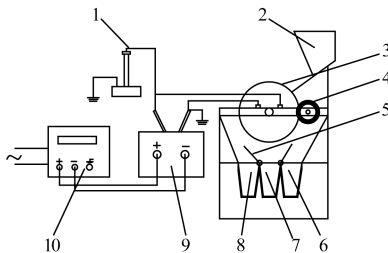
图1 高压种子处理装置示意图

Fig.1 Schematic of seed high voltage electric field processing

弧形芒刺电极由厚度为 0.6 mm 冷轧不锈钢板激光切割而成, 每片有 24 个半径为 4.5 mm 的弧形顶端, 两端线段与圆弧相切且夹角为 35°, 弧形顶端间距为 16 mm。试验时将 10 片芒刺电极通过两边的圆孔与试验台固定, 每片间距为 24 mm。

1.2.2 介电分选试验装置

介电分选试验装置主要由 JWY-45 型晶体管直流稳压电源(济南无线电二厂)、ZGD-II 型变压器型(东南大学物理系)、FRC-100 型高压测量器(北京丰源高压电器厂)、5JD-A 型介电式种子精选机(山东农业大学)。其工作原理图如图 2 所示, 分选机的主要工作部件为双绕线圈滚筒, 进料斗、种刷、分料板等; 双绕线圈为断路状态, 工作时, 双绕线圈一条接电源正极, 一条接电源负极(接地), 种子由进料斗沿淌板均匀的输送到分选滚筒上, 经分选分别从 I、II、III 级种子出口排出, 将种子分成 3 级, I 级种子最优。



1. 高压测量器 2. 进料斗 3. 分选滚筒 4. 种刷 5. 分料板 6. III 级种子出口 7. II 级种子出口 8. I 级种子出口 9. 变压器 10. 直流稳压电源

1. High voltage meter 2. Feed hopper 3. Separation roller 4. Seed brush 5. Separating plate 6. III class seed export 7. II class seed export 8. I class seed export 9. Transformer 10. DC stabilized source

图2 种子介电分选装置示意图

Fig.2 Schematic of seed dielectric separator

1.3 试验方法

1.3.1 电晕场处理试验

处理时将 50 g 水稻种子单层铺放在下极板上, 前期预试验已经研究了针形、锯齿形、圆弧形芒刺电极对水稻种子活力的影响, 并得知圆弧形芒刺电

极的处理效果较好, 该试验采用圆弧形芒刺电极进行处理, 通过多因素分析得知处理电压对种子活力的影响较处理时间要大, 因此采用不同处理电压在同一时间下对水稻种子进行处理, 处理时间为 4 min, 处理电压为直流, 选取的处理电压有效值为 15 000、17 500、20 000、22 500 V, 将处理后的种子装入自封袋密封待用。

电晕场处理所加的电压形式是交流经过半波整流后的直流电压, 处理装置可以看做一个电容(芒刺电极片与下极板), 对电压波形有一定的滤波作用, 因此电压的波形是呈周期性变化的, 所形成的波形可以近似的看做是脉冲宽度较宽的脉冲波形。

1.3.2 介电分选试验

介电分选的机理是根据种子介电常数及电导率不同进行分选^[16,25], 种子的活力越高, 一般来说种子介电常数越小, 电导率越小, 在分选滚筒上受到的极化力和静电力就越小, 相同质量下就越早脱离滚筒, 落入 I 级种子出口, 同理, 种子活力越小, 种子的介电常数和电导率越大, 在分选滚筒上受到的极化力和静电力就越大, 越晚脱离滚筒, 最终被种刷刷入 III 级种子出口, 落入 II 级种子出口的种子的活力介于 I 级与 III 级种子之间。分选时, 分选滚筒的转速和分选电压是 2 个重要的参数, 分选转速过高, 使种子在滚筒上受到的离心力越大, 造成种子不经分选就落入出料口, 影响分选效果, 分选转速过低, 影响种子的分选效率; 同样分选电压过高或者高低也会影响分选结果, 分选电压过高会使 III 级的比例升高, 好种子获选率降低, 分选电压过低会使 I 级种子比例过高, 也会影响分选效果, 且已有研究表明分选电压和分选转速是可以互补的^[18], 因此根据前人的研究及前期预试验^[26-27], 取 100 g 水稻种子进行分选, 将分选滚筒定为 25 r/min, 分选电压定为 2 000、3 000、4 000、5 000 V, 将处理后的种子装入自封袋密封待用。

1.3.3 电晕场与介电分选组合试验

获得电晕场处理试验和介电分选处理试验的较优处理电压后, 首先将水稻种子在较优电晕处理电压下处理 4 min, 然后再将水稻种子在较优分选电压下进行介电分选, 滚筒转速为 25 r/min, 将处理后的种子装入自封袋密封待用。

1.3.4 发芽试验

对照组(CK)的水稻种子不做任何处理, 将处理后或对照组的水稻种子充分混合后手工随机选择 100 粒作为 1 次重复, 采用沙床法均匀置在发芽盒中, 在山东农业大学农学院种子幼苗培养室内进行发芽与生长试验, 培养室条件为 25℃ 恒温、100%HR 恒湿、持续光照^[28], 每种处理分别做 4 次

重复试验,在上述条件下做发芽试验 15 d,每天记录发芽数,第 15 天记录正常苗和不正常苗的数量,测量每盒所有正常苗根和苗的质量,计算每个重复的发芽势、发芽率、发芽指数、活力指数。数据统计标准是根据《种子检验学》界定的^[29],对于发芽势的统计,只要幼苗露出沙床就做统计;对于最后的发芽统计,受损伤、畸形、不匀称及腐烂的幼苗都不是正常幼苗,不做统计;只要不发芽的硬实种子,死种子都是不正常的,不做发芽统计。洗苗时将幼苗上的石英砂冲洗干净,并用吸水纸将幼苗上的水分吸干,用 JJ1000 型天平(精度 0.01 g,常熟双杰测试仪器厂)称得幼苗质量。

2 结果与分析

2.1 电晕场处理电压对水稻种子活力的影响

图 3 显示了水稻种子每天的发芽数,由于水稻种子从第 5 天开始出苗到第 10 天时基本不再出苗,所以图中记录了从第 5 天到第 10 天的发芽数。从图中可知,电晕场处理后的水稻种子在第 5 天时的发芽数达到最大,且发芽数均比对照(CK)多,而对照(CK)在第 6 天时的发芽数达到峰值,发芽峰值提前 1 d,这说明电晕场处理水稻种子后能加速其发芽速度,这

与 Lynikiene 的结论是一致的^[30],同时 Daniela 的研究证明植物细胞曝光于电晕场中时会受到电场应力的作用,从而加速了细胞的有丝分裂,并伴有各种形式的染色体畸变出现^[31],这也印证了电晕场处理水稻种子后加速了细胞分裂,从而使其发芽提前的结论,同时细胞分裂加快从侧面反映了细胞内新陈代谢加快,说明种子的活力有相应的提高。

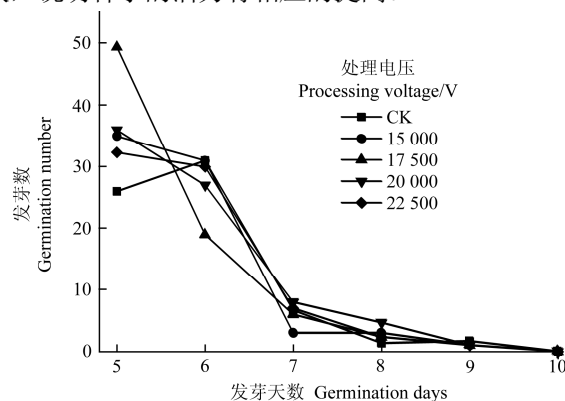


图 3 电晕场处理后水稻种子每天的发芽数

Fig.3 Number of germinated paddy seeds of everyday after processing by corona discharge field

图 4 为电晕场处理电压对水稻种子活力的影响,处理后的水稻种子较对照各指标都有不同程度

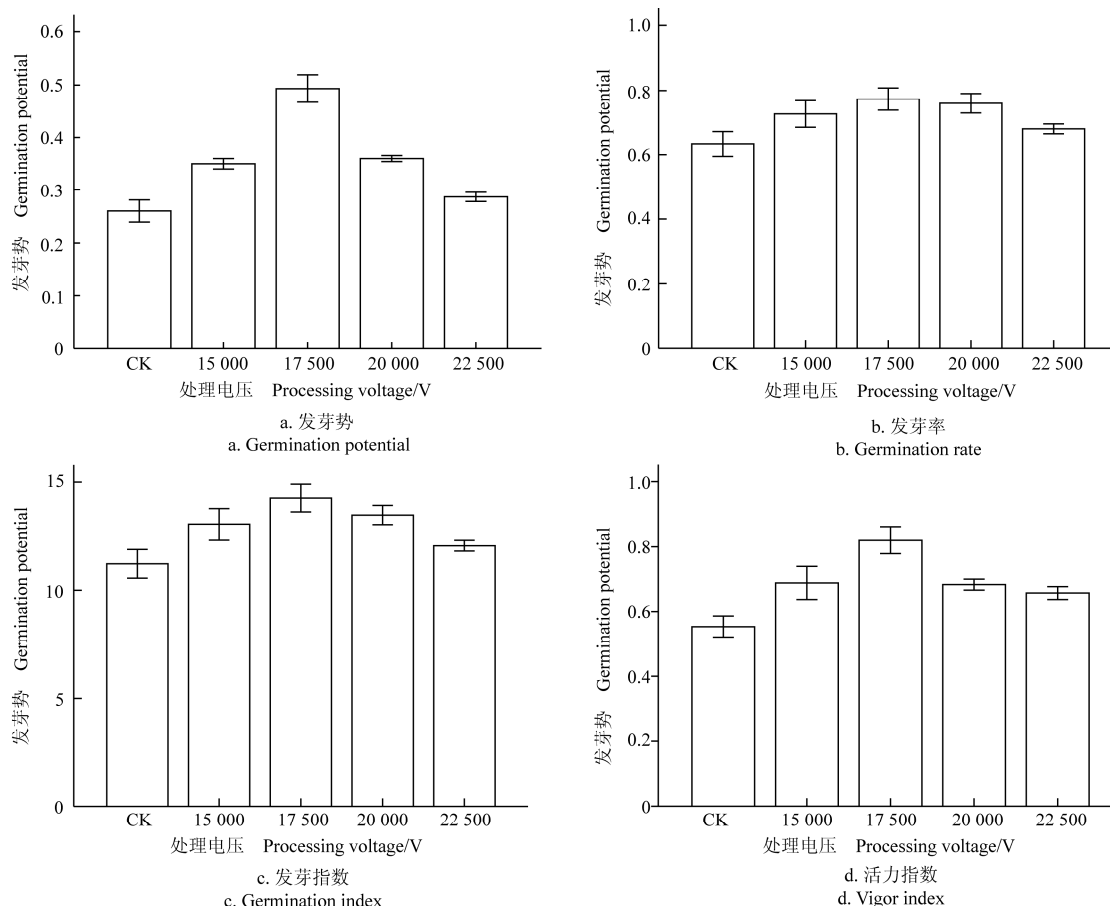


图 4 电晕场处理电压对水稻种子活力的影响

Fig.4 Effect of corona electric field processing voltage on vigor of paddy seeds

的提高,各指标随处理电压的变化趋势基本是一致的,各指标随处理电压的升高而升高,在 17 500 V 时升高到最大值,可见处理电压也存在一个阈值,随后随处理电压升高开始下降。发芽势结果如图 5a,除 22 500 V 外,其余较对照均有极显著差异 ($P<0.01$);发芽率结果如图 5b,17 500、20 000 V 较对照有显著差异 ($P<0.05$),其余较对照无显著差异;发芽指数结果如图 5c,17 500 V 时较对照有极显著差异 ($P<0.01$),15 000、20 000 V 较对照有显著差异 ($P<0.05$),22 500 V 较对照无显著差异;活力指数结果如图 5d,17 500 V 时较对照有极显著差异 ($P<0.01$),15 000、20 000 V 较对照有显著差异 ($P<0.05$),22 500 V 较对照无显著差异。综合考虑,处理时间为 4 min 时,17 500 V 处理水稻种子的效果最好,发芽势较对照提高了 88.5%,发芽率较对照提高了 22.2%,发芽指数较对照提高

了 26.9%,活力指数较对照提高了 30.8%,4 项活力指标较对照 (CK) 的提高均达到极显著 ($P<0.01$),故试验条件下,芒刺电场处理水稻种子的最佳处理电压为 17 500 V。

2.2 介电分选对水稻种子活力的影响

图 5 显示了介电分选后,各分选电压下各级种子每天的发芽数。从图中可知,介电分选后各级种子的发芽数都在第 5 天达到最大值,对照 (CK) 在第 6 天时的发芽数达到峰值,介电分选也使水稻种子的发芽提前,这与电晕场处理后发芽规律是一致的,这也说明种子介电分选的过程不仅仅是单一的分选,种子同时置于双绕线圈产生的电场中进行了电场处理。各处理电压下 I 级种子的发芽峰值要明显大于对照组的发芽峰值,III 级种子发芽峰值低于对照组的发芽峰值,II 级种子的发芽介于这两种情况之间,该指标也反映了分选机有较好的分选效果。

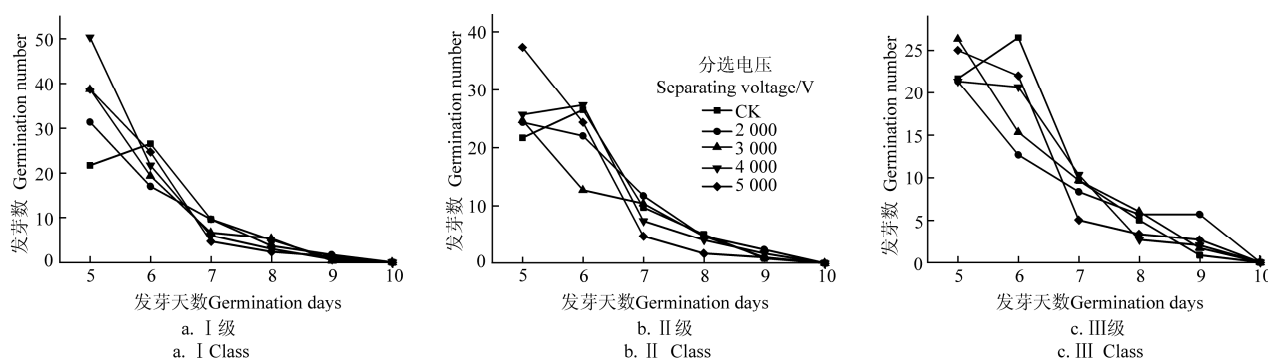


图 5 介电分选后各级水稻种子每天的发芽数

Fig.5 Number of germinated paddy seeds of each class of everyday after dielectric separator

图 6 显示了介电分选电压对水稻种子分选活力的影响。发芽势结果如图 6a, I 级种子的发芽势较对照都有极显著的提高 ($P<0.01$), II 级种子发芽势除 2 000 V 外较对照都有相应的提高,但无显著差异,III 级种子发芽势都低于对照;4 000 V 时 I 级种子的发芽势最好,较对照提高了 59.4%,且较 III 级种子的发芽势差距最大。发芽率结果如图 6b, I 级种子的发芽率较 II、III 级要好,4 000 V 时 I 级种子的发芽率最好,较对照提高了 20.6%,有极显著差异 ($P<0.01$),3 000 V 时 I 级种子的发芽率较对照有显著差异 ($P<0.05$),各分选电压的 II 级种子的发芽率要好于对照,但无显著差异,III 级种子发芽率要低于对照。发芽指数结果如图 6c, I 级种子的发芽指数较对照都有相应的提高,3 000、4 000 V 时 I 级种子的发芽指数较对照有极显著差异 ($P<0.01$),其中 4 000 V 时 I 级种子的发芽指数较对照提高了 33.3%,5 000 V 时 I

级种子的发芽指数较对照有显著差异 ($P<0.05$),除 3 000 V 外 II 级种子的发芽指数要好于对照,但无显著性差异,III 级种子发芽指数要低于对照。活力指数结果如图 6d, I 级种子的活力指数较对照都有相应的提高,4 000 V 时 I 级种子的活力指数较对照提高了 45.2%,有极显著差异 ($P<0.01$),3 000、5 000 V 时 I 级种子的活力指数较对照有显著差异 ($P<0.05$),4 000、5 000 V 时的 II 级种子的活力指数要好于对照,其中 5 000 V 时 II 级种子的发芽率较对照有显著差异 ($P<0.05$),3 000 V 时 II 级种子的活力指数要低于对照,各分选电压下 III 级种子活力指数要低于对照。从试验结果可知分选机可以按种子活力对种子进行分选,有较好的分选效果。试验还发现 2 000~4 000 V 时 I 级种子的各活力指标随电压的升高而升高,5 000 V 时明显下降,说明过高的分选电压不利于 I 级好种子活力的提高。

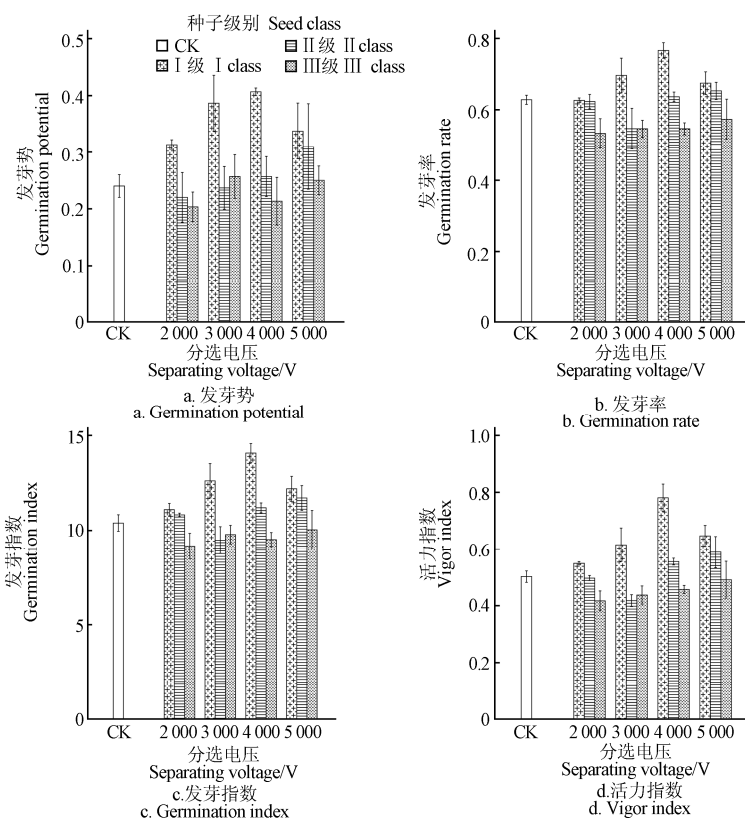


图 6 分选电压对水稻种子活力的影响

Fig.6 Effect of separating voltage on vigor of paddy seeds

图 7 显示了各级种子在各分选电压下的质量, 从图中可知随着分选电压的升高, I 级种子的质量明显下降, III 级种子的质量明显上升, II 级种子的质量缓慢上升。随着分选电压的升高, 种子在分选滚筒表面受到的极化力就越大, 因此种子不易脱落, 最后被毛刷刷到 III 级种子中, 由此产生了上述变化规律。

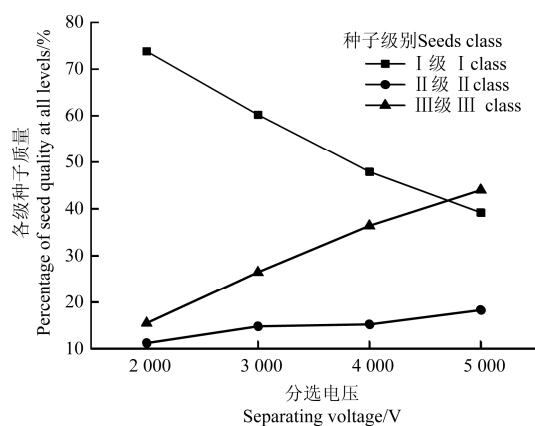


图 7 各分电压下选各级种子的分选质量

Fig.7 Quality of every class of paddy seeds after separating at deferent voltage levels

2.3 电晕场处理后再进行介电分选对水稻种子活力的影响

根据电晕场处理和介电分选各自对水稻种子

活力的影响试验, 首先在 17 500 V 的处理电压下处理水稻种子 4 min, 再在 25 r/min 的分选滚筒转速, 4 000 V 的分选电压下分选电场处理过的水稻种子, 进行组合处理。

图 8 显示了组合处理的结果, 组合处理后各级种子的各活力指标较只介电分选都有相应的提高, 其中 I 级种子的各活力指标较对照提高了 67.2%、25.3%、35.6%、47.4%, 除发芽势外, 组合处理的发芽率、发芽指数、活力指数均高于电晕场处理和介电分选单独处理时活力指标, 但是相对于电晕场和介电分选单独处理时提高幅度较小。表 1 显示了组合处理后各级种子较对照的显著性检验, 组合处理后 II 级种子的各活力指标除发芽指数外均达到显著 ($P < 0.05$) 或极显著水平 ($P < 0.01$), 而 II 级种子的各活力指标在只进行 4 000 V 介电分选时均未达到显著性水平, 组合处理后 III 级种子的发芽势较对照有显著性差异 ($P < 0.05$), 其余活力指标较对照均无显著性差异, 但是较对照都有相应的提高, 而 III 级种子的各活力指标在只进行 4 000 V 介电分选时都低于对照。组合处理后 II、III 级种子的活力得到明显的提高, 这说明电晕场处理对低活力种子有更好的效果。

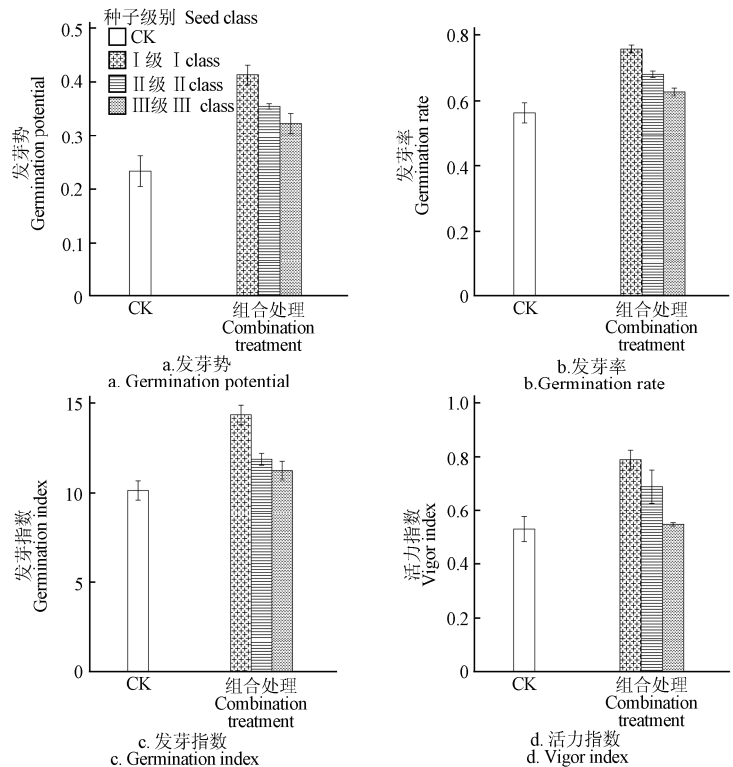


图 8 组合处理结果

Fig.8 Result of combination treatment

表 1 组合处理后各级种子较对照的显著性检验
Table 1 Significance test of four indexes after combined treatment

活力指标 Indexes of vigor		显著性检验 Significance test		
		均值差 Mean difference	标准误差 Standard error	显著性 P Significance P
发芽势 Germination potential	I 级	0.18000	0.02903	0
	II 级	0.12167	0.03246	0.007
	III 级	0.09000	0.02903	0.017
发芽率 Germination rate	I 级	0.19317	0.02670	0
	II 级	0.11650	0.02986	0.006
	III 级	0.06317	0.02670	0.075
发芽指数 Germination index	I 级	4.21397	0.71056	0.001
	II 级	1.73698	0.79443	0.065
	III 级	1.10667	0.71056	0.163
活力指数 Vigor index	I 级	0.26080	0.05179	0.002
	II 级	0.16032	0.05790	0.028
	III 级	0.01745	0.05179	0.746

3 结 论

1) 电晕场处理水稻种子后各活力指标较对照都有不同程度的提高, 处理时间为 4 min 时, 17 500 V 处理水稻种子的效果较好, 发芽势较对照提高了 88.5%, 发芽率较对照提高了 22.2%, 发芽指数较对照提高了 26.9%, 活力指数较对照提高了 30.8%, 4 项活力指标较对照 (CK) 均达到极显著差异 ($P<0.01$)。

2) 介电分选对水稻种子有较好的分选效果, 各级种子各活力指标存在明显差异, 滚筒转速在 25 r/min, 分选电压在 4 000 V 时分选效果较好, I 级种子发芽势较对照提高了 59.4%, 发芽率较对照提高了 20.6%, 发芽指数较对照提高了 33.3%, 活力指数较对照提高了 45.2%, 4 项活力指标较对照 (CK) 均达到极显著差异 ($P<0.01$)。同时发现, 5 000 V 时 I 级种子各活力指标下降, 过高的分选电压不利于 I 级种子活力指标的提高。

3) 电晕场处理和介电分选都能使水稻种子提前发芽, 且发芽的峰值较对照约提前 1 d。

4) 组合处理后, I 级种子各活力指标较只进行 4 000 V 介电分选时没有明显提高, 但 II, III 级这种子的活力指标有明显的提高, 且 II 级种子的活力指标除发芽指数外较对照有显著差异 ($P<0.01$ 或 0.05), 说明电晕场处理对活力较低的水稻种子有较好的效果。

[参 考 文 献]

[1] 张岩. 高压芒刺电场处理大豆及黄瓜种子对其萌发影响的试验研究[D]. 沈阳: 东北师范大学, 2007.
Zhang Yan. The Effect of High-Voltage Prick Electric Field on Germination of Soybean and Cucumber[D]. Shenyang: Northeast Normal University, 2007. (in Chinese with English abstract)

[2] 蔡兴旺, 林昌华. 高压静电场处理对黄瓜种子发芽的影响[J]. 种子, 2002, 126(6): 16-17.
Cai Xinwang, Lin Changhua. The influence of the

- process in high voltage static electricity field upon cucumber seeds[J]. Seed, 2002, 126(6): 16—17. (in Chinese with English abstract)
- [3] 白业乡. 高压静电场对大麦、甜菜、玉米种子超弱发光的影响[J]. 内蒙古大学学报: 自然科学版, 2000, 31(4): 443—446.
Bai Yexiang. Influence of high voltage static electric field for super-weak luminescence of seed on barley, beet and maize[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Neimongol, 2000, 31(4): 443—446. (in Chinese with English abstract)
- [4] Cramariuc R, Donescu V, Popa M, et al. The biological effect of the electrical field treatment on the potato seed: agronomic evaluation[J]. Journal of Electrostatics, 2005, 63(6): 837—846.
- [5] Moon J, Chung H. Acceleration of germination of tomato seed by applying AC electric and magnetic fields[J]. Journal of Electrostatics, 2000, 48(1): 103—114.
- [6] 吕剑刚, 杨体强, 苏恩光, 等. 电场处理小麦种了对幼苗生长抗盐性的影响[J]. 内蒙古大学学报: 自然科学版, 2001, 32(6): 707—710.
Lu Jiangang, Yang Tiqiang, Su Enguang. Effect of electric field treatment of wheat seeds on the salt resistance of growth in seedling stage[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Neimongol, 2001, 32(6): 707—710. (in Chinese with English abstract)
- [7] Morar R, Munteanu R, Simion I, et al. Electrostatic treatment of bean seeds[C]// Conference Record of the 1995 IEEE Industry Applications 30 IAS Annual Meeting. Orlando: IEEE, 1995.
- [8] 刘辉, 孙迎春. 高压交变芒刺电场对大豆种子萌发及活力的影响[J]. 高师理科学刊, 2008, 28(1): 69—72.
Liu Hui, Sun Yingchun. Effects of high voltage prick alternate electric fields on sprouts and activities of Glycine max[J]. Journal of Science of Teachers' College and University, 2008, 28(1): 69—72. (in Chinese with English abstract)
- [9] 迟燕平. 高压脉冲电场对蔬菜种子生物学效应的研究[D]. 长春: 吉林大学, 2008.
Chi Yanping. Study on High Intensity Pulsed Electric Field to the Biological Effects of Vegetable Seeds[D]. Changchun: Jilin University, 2008. (in Chinese with English abstract)
- [10] 张春庆, 金锡魁. 单向电晕场处理农作物种子活力的影响[J]. 种子, 1989, 44(6): 28—33.
Zhang Chunqing, Jin Xikui. The effect of Mono-directional electric field treatment on the vigor of crop seeds[J]. Seed, 1989, 44(6): 28—33. (in Chinese with English abstract)
- [11] 张春庆, 金锡魁, 周荣清. 单向电晕场处理对蔬菜种子活力的影响[J]. 种子, 1990, 60(6): 41—43.
Zhang Chunqing, Jin Xikui, Zhou Rongqing. The effect of Mono-directional electric field treatment on the vigor of vegetable seeds[J]. Seed, 1990, 60(6): 41—43. (in Chinese with English abstract)
- [12] 张春庆, 李圣福, 金锡魁. 单向电晕场处理对种子耐贮性的影响[J]. 种子, 1992, 58(2): 25—29.
Zhang Chunqing, Li Shengfu, Jin Xikui. The effect of Mono-directional electric field treatment on the storage characters of seed[J]. Seed, 1992, 58(2): 25—29. (in Chinese with English abstract)
- [13] Cerri G, Chiarandini S, Costantini S. Theoretical and experimental characterization of transient electromagnetic fields radiated by electrostatic discharge (ESD) currents[J]. IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, 2002, 44(1): 139—147.
- [14] Pozeliene A, Lynikiene S. The treatment of rape (*Brassica napus* L.) seeds with the help of electrical field[J]. Agronomy Research, 2009, 7(1): 39—46.
- [15] 李法德, 张宪刚, 李秀芝, 等. 电场处理与介电分选对棉种发芽率和幼苗质量的影响[J]. 农业工程学报, 2010, 26(9): 128—132.
Li Fade, Zhang Xiangang, Li Xiuzhi, et al. Effects of electric field processing and dielectric separation on cotton seed germination rate and seedling mass[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2010, 26(9): 128—132. (in Chinese with English abstract)
- [16] 康敏, 余登苑. 滚筒式静电选种机的增产效应研究[J]. 农业工程学报, 2001, 17(2): 92—96.
Kang Min, Yu Dengyuan. Research on increasing product effect of the roll type electrostatic separator of seeds[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2001, 17(2): 92—96. (in Chinese with English abstract)
- [17] 米双山. 介电式种子分选机理及其设备的研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2000.
Mi Shuangshan. Study on the Mechanism and Equipment of Dielectric Seed Separation[D]. Beijing: China Agricultural University, 2000. (in Chinese with English abstract)
- [18] 别传爽. 介电式种子分选机理的研究[D]. 北京: 北京农业工程大学, 1986.
Bie Chuanshuang. Study on the Mechanism of Dielectric Seed Separation[D]. Beijing: Beijing Agricultural Engineering University, 1986. (in Chinese with English abstract)
- [19] 王庆惠. 介电式种子分选机的设计及试验研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2007.
Wang Qinghui. Study on design and Experiment of Dielectric Seed Separator[D]. Wulumuqi: XinJiang Agricultural University, 2007. (in Chinese with English abstract)
- [20] 王建刚. 静电种子精选机的设计与试验研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2005.
Wang Jiangang. Design of the Dielectric Machine for Seed Separating and its Experiments[D]. Beijing: China Agricultural University, 2005. (in Chinese with English abstract)
- [21] 高伟娜, 王贵学, 吕江, 等. 高压静电场对水稻干湿种子生物学效应的研究[J]. 重庆大学学报: 自然科学版, 2006, 29(4): 58—61.
Gao Weina, Wang Guixue, Lu Jiang, et al. Biological effect of HVEF on the dry and the wet rice seeds[J]. Journal of Chongqing University(Natural Science Edition, 2006, 29(4): 58—61. (in Chinese with English abstract)
- [22] 王清元, 卢贵忠, 赵玉清. 高压静电场对水稻种子萌发的试验研究[J]. 云南农业大学学报, 2005, 20(1): 147—150.
Wang Qingyuan, Lu Guizhong, Zhao Yuqing. Experimentation of bourgeoning paddy rice seeds with high Voltage electrostatic field[J]. Journal of Yunan Agricultural University, 2005, 20(1): 147—150. (in Chinese with English abstract)
- [23] 于爱真, 蔡兴旺, 李明, 等. 高压静电场分离水稻、油菜及芝麻种子对萌发期生物效应的影响[J]. 农业工程学报, 1995, 11(4): 139—143.
Yu Aizhen, Cai Xingwang, Li Ming, et al. Research on influence of high voltage electrostatic field separating effect on the biotic factors of rice, rape and sesame seeds during their seprouting period[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering

- (Transactions of the CSAE), 1995, 11(4): 139—143. (in Chinese with English abstract)
- [24] 陆长民. 电场及介电分选复合处理对棉花种子活力的影响[D]. 泰安: 山东农业大学, 2010.
Lu Changmin. Design of the Dielectric Machine for Seed Separating and its Experiments[D]. Taian: Shandong Agricultural University, 2010. (in Chinese with English abstract)
- [25] 坎杂, 谷趁趁, 王丽红, 等. 脱绒棉种介电分选参数的优化[J]. 农业工程学报, 2010, 26(9): 114—119.
Kan Za, Gu Chenchen, Wang Lihong, et al. Optimization of parameters for delinted cottonseeds dielectric selection[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2010, 26(9): 114—119. (in Chinese with English abstract)
- [26] 张敏华, 许乃章, 项士英. 种子介电分选的主要参数与工作机理的研究[J]. 农业机械学报, 1989(3): 44—50.
Zhang Minhua, Xu Naizhang, Xiang Shiyong. Study on the main parameters and working principle of the dielectric separation of seeds[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 1989(3): 44—50. (in Chinese with English abstract)
- [27] 姜学东, 吕宝君, 庄振春. 小麦种子介电分选参数的优化[J]. 中国农机化, 2005(6): 73—75.
Jiang Xuedong, Lu Baojun, Zhuang Zhengchun. Parameter optimization of wheat seed dielectric separation[J]. China Agricultural Mechanization, 2005(6): 73—75. (in Chinese with English abstract)
- [28] GB/T 3543.4—1995, 农作物种子检验规程发芽试验[S].
- [29] 张春庆. 种子检验学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2005.
- [30] Lynikiene S, Pozeliene A, Rutkauskas G. Influence of corona discharge field on seed viability and dynamics of germination[J]. Int Agrophysics, 2006(3): 20, 195—200.
- [31] Daniela I, Creanga D E, Alina R. Corona discharge effect on cell proliferation in plants[C]//In: Proceedings of ESA Conference, Edmonton, Canada, 2005.

Improving paddy seed vigor by corona discharge field processing and dielectric separation

Xu Jiang¹, Tan Min², Zhang Chunqing², Li Fade^{1*}

(1. Mechanical and Electrical Engineering College, Shandong Agricultural University, Tai'an 271018, China;

2. Agricultural College, Shandong Agricultural University, Tai'an 271018, China)

Abstract: In order to research the effects of corona discharge field processing and dielectric separation on the vigor of paddy seeds, a corona discharge field processing test was conducted with an arc-shaped electrode at a processing voltage of 15 000, 17 500, 20 000, and 22500 V(DC) for 4 min. The results showed that the vigor of the paddy seeds were significantly improved, and increased initially and then decreased with the processing voltage. The four indexes (the germination potential, the germination rate, the germination index, and the vigor index) got the maximum value at the processing voltage at 17500 V, and increased by 88.5%, 22.2%, 26.9%, and 30.8% in comparison with that of CK. Through the analysis with ANOVA, it was found that the effect of the arc-shaped electrodes on the four indexes of the seeds was significantly ($p < 0.01$) higher than that of the CK at a processing voltage of 17 500 V.

In addition, a dielectric separation was performed with a dielectric separator at the different separating voltages of 2 000, 3 000, 4 000, and 5 000 V(DC) when the rotating speed of the separating roller was 25 r/min, and the results also showed that the vigor of each class was significantly different. The vigor of the class I paddy seeds was highest, and the vigor of the class III paddy seeds was lowest. The vigor of the class I paddy seeds was significantly ($p < 0.01$) higher than that of the CK. The vigor of the class III paddy seeds was lower than that of the CK. That was to say that the separation effect was obvious. The vigor of the class I paddy seeds was significantly increased when the rotating speed of the separating roller was 25r/min and the selecting voltage was 4000 V (DC). The four indexes of paddy seeds with that treatment were increased by 59.4%, 20.6%, 33.3% and 45.2% in comparison with that of CK. Through the analysis with ANOVA, it was found that the effects on the four indexes of the seeds were significantly ($p < 0.01$) higher than that of the CK.

On the other hand, it was also found that the vigor of class II and class III paddy seeds which were firstly processed with the corona discharge field and then separated with the dielectric separator under the above optimum conditions (17 500 V and 4 min for the corona discharge field processing, 4000 V and 25 r/min for the dielectric separator) were significantly higher than that of the paddy seeds which were solely processed with the dielectric separator. The vigor of the class II paddy seeds was significantly ($p < 0.01$ or $p < 0.05$) higher than that of the CK. The vigor of the class III paddy seeds was higher than that of the CK. These results will provide a foundation for developing a new processing and separating device. It has a great significance for agricultural production. The number of the generation of the paddy seeds was recorded from the 5th day to the 10th day as well. It was found that a corona discharge field and dielectric separation increased the speed of germination of paddy seeds. It also suggested that the dielectric separation electric field treatment was also a process of electric field treatment.

Key words: seed, separation, dielectric properties, paddy, corona discharge field, seeds vigor

(责任编辑: 刘丽英)