

# 超声波处理对粤晶丝苗生理特性及产量、品质的影响

罗昊文 钟卓君 聂俊 唐湘如\*

(华南农业大学农学院/农业部华南地区作物栽培科学观测实验站, 广州 510642; 第一作者: 1098063504@qq.com;

\* 通讯作者: tangxr@scau.edu.cn)

**摘要:**以粤晶丝苗为材料, 通过大田试验, 研究了超声波和种子包衣处理对水稻生理特性及产量、品质的影响。结果表明, 超声波处理可以提高水稻产量, 以“超声波+种子包衣”处理的产量最高, 主要是由于超声波处理增加了水稻的有效穗数、每穗粒数和结实率; 超声波处理可以提高水稻叶片的 SOD、POD 活性, 增加游离脯氨酸含量, 降低 MDA 含量, 提高水稻抗性; 超声波处理还可改善稻米的加工品质和外观品质。

**关键词:**水稻; 超声波; 抗性; 产量; 品质

**中图分类号:** S511.041 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-8082(2017)02-0064-04

高产历来是水稻栽培和育种及有关基础理论研究的主要目标。目前主要通过大量的化肥和农药的使用来达到增产的目的, 但化肥和农药的过量使用造成地力衰退、产品品质下降、环境污染等, 严重影响了农业的可持续发展。当前, 我国农业生产正在向优质、高产、高效、生态、安全方面发展<sup>[1]</sup>。而许多发达国家已将化学药剂的使用重点从叶面施用转移到种子处理方面, 种子处理必将是未来农业的发展方向之一。作为一种无公害的物理处理手段, 超声波具有方向性好、穿透力强、能量高等特点, 在生物科学领域已得到了广泛的应用, 其具有的能够改变植物体亚微观结构的优点不断被认识, 超声波处理正在逐渐成为种子处理的重要方法之一。

目前, 大量研究集中在浸泡种子后再超声波处理, 但种子浸泡过后, 就容易霉变, 不易保存, 还不便于播种, 缺乏直接对干种子进行超声波处理的研究。本试验在前人<sup>[2]</sup>研究的基础上, 采用超声波处理粤晶丝苗不包衣种子和包衣种子, 研究了超声波处理对水稻不同时期生理指标以及产量和品质的影响。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料

以常规籼稻粤晶丝苗为材料, 试验种衣剂为适乐时悬浮种衣剂(有效成分 2.5%咯菌腈)。超声波仪器为广州新栋力超声电子设备有限公司提供的专用超声波种子处理器(20KHz)。

### 1.2 试验设计

试验于 2013 年在华南农业大学试验农场进行, 试验田土壤性质: 有机质 21.62 g/kg、全氮 1.10 g/kg、碱解氮 145.38 mg/kg、速效磷 74.37 mg/kg、速效钾 81.58 mg/kg。试验设包衣、超声波处理(BC), 不包衣、超声波处理

(GC), 包衣、无超声波处理(BCK)和不包衣、无超声波处理(CK)。直接将干种子置于超声波种子处理器中处理 5 min, 种衣剂用量为 250 mL/kg。

3 月 10 日播种, 4 月 1 日移栽, 移栽规格为 20 cm×20 cm, 每丛 3 苗, 大田小区面积 30 m<sup>2</sup>, 3 次重复。本田施用纯 N 184 kg/hm<sup>2</sup>、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 93.75 kg/hm<sup>2</sup>、K<sub>2</sub>O 180 kg/hm<sup>2</sup>。氮肥和钾肥施用中, 基肥、分蘖肥的比例为 4:1, 磷肥全部作基肥施用。具体施肥情况如下: 每 hm<sup>2</sup> 施尿素 300 kg、氯化钾 225 kg、过磷酸钙 750 kg 作基肥; 每 hm<sup>2</sup> 施尿素 100 kg、氯化钾 75 kg 作分蘖肥。其他田间管理措施按照当地水稻高产田要求进行操作。

### 1.3 测试指标与方法

#### 1.3.1 生理指标测定

超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)等是酶促防御系统的保护酶, 它们协同作用, 防御过氧化自由基对细胞膜系统的伤害, 抑制膜脂过氧化, 降低丙二醛(MDA)的含量, 以减轻逆境胁迫对植物细胞的伤害<sup>[3-7]</sup>。游离脯氨酸也是衡量植株抗逆性的重要指标, 是最有效的渗透调节物质之一, 能提高植物对胁迫环境的适应性<sup>[8-9]</sup>。

SOD 活性测定以抑制氯化硝基四氮蓝啉(NBT)光化学还原 50%为 1 个酶活力单位 U; POD 活性测定采用愈创木酚法, 以每分钟 OD<sub>470</sub> 的变化值 1 为 1 个相对酶活单位 U; MDA 含量测定采用硫代巴比妥酸(TBA)氧化法; 游离脯氨酸含量测定采用磺基水杨酸法<sup>[10-11]</sup>。

#### 1.3.2 产量及产量构成调查

收稿日期: 2016-10-15

**基金项目:** 广东省科技计划项目(2011A020202001); 广东省粮食发展专项(F121397)

表 1 超声波处理对叶片游离脯氨酸含量的影响 (μg/g)

| 处理  | 苗期       | 分蘖期      | 孕穗期      | 齐穗期      | 成熟期     |
|-----|----------|----------|----------|----------|---------|
| BC  | 49.46 ab | 55.43 ab | 29.38 a  | 24.12 a  | 15.50 a |
| GC  | 53.78 a  | 60.32 a  | 27.73 ab | 21.42 ab | 16.04 a |
| BCK | 42.43 c  | 49.09 bc | 25.46 ab | 21.35 b  | 12.46 a |
| GCK | 46.43 bc | 44.00 c  | 22.63 b  | 20.83 b  | 14.66 a |

同列数据后不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著。下同。

表 2 超声波处理对叶片 SOD 活性的影响 (U/g)

| 处理  | 苗期       | 分蘖期      | 孕穗期       | 齐穗期      | 成熟期      |
|-----|----------|----------|-----------|----------|----------|
| BC  | 334.71 b | 294.85 b | 292.59 ab | 368.75 a | 412.04 a |
| GC  | 388.10 a | 304.38 a | 303.61 a  | 363.22 a | 412.48 a |
| BCK | 288.26 c | 271.43 d | 245.35 b  | 309.52 b | 399.51 b |
| GCK | 325.34 b | 286.25 c | 274.39 ab | 314.61 b | 399.64 b |

表 3 超声波处理对叶片 POD 活性的影响 [U/(g·min)]

| 处理  | 苗期       | 分蘖期       | 孕穗期      | 齐穗期      | 成熟期       |
|-----|----------|-----------|----------|----------|-----------|
| BC  | 342.95 b | 235.66 ab | 116.60 a | 148.30 b | 132.61 b  |
| GC  | 399.08 a | 246.85 a  | 106.85 b | 186.81 a | 156.53 a  |
| BCK | 310.03 c | 198.11 c  | 105.99 b | 123.87 b | 111.31 c  |
| GCK | 338.88 b | 232.40 b  | 82.65 c  | 130.09 b | 124.23 bc |

收获时每处理采用 5 点取样法,按单位面积收割测产量,4 次重复;每小区测定 75 丛的有效穗数,另外随机取 5 丛调查每穗粒数、结实率和千粒重。

1.3.3 稻米品质的测定

糙米率、精米率、整精米率、垩白粒率、垩白度、直链淀粉含量、胶稠度、长宽比、蛋白质含量等性状的测定均采用 GB/T 17891-1999 标准测定<sup>[12]</sup>。

1.4 统计方法

试验数据用 Microsoft Excel 2010 处理,SPSS19.0 数据处理系统进行统计分析。各数值为平均数,多重比较采用 LSD 法,结果采用字母标记法标记,相同小写字母表示两组数据在 0.05 水平差异不显著,不同小写字母表示两组数据在 0.05 水平差异显著。

2 结果与分析

2.1 超声波处理对叶片游离脯氨酸含量的影响

从表 1 可以看出,与对照相比,超声波处理可以提高水稻叶片游离脯氨酸的含量,各个时期表现趋势基本一致。在苗期、分蘖期和成熟期以 GC 处理最高,而在孕穗期和齐穗期以 BC 处理最高。BC 处理的游离脯氨酸含量在苗期和齐穗期时比 BCK 处理提高了 16.57%和 12.97%,差异显著;GC 处理的游离脯氨酸含量在苗期和分蘖期时比 GCK 处理提高了 15.83%和 37.09%,差异显著。在成熟期,BC、GC 处理与 BCK、GCK 处理均无显著差异。

2.2 超声波处理对水稻叶片 SOD 活性的影响

从表 2 可以看出,与对照相比,超声波处理可以提

高水稻叶片的 SOD 酶活性,各个时期表现趋势基本一致。除在齐穗期时叶片 SOD 酶活性以 BC 处理最高外,其余各时期均以 GC 处理最高。BC 处理的 SOD 酶活性在苗期、分蘖期、齐穗期和成熟期分别比 BCK 处理提高了 16.11%、8.63%、19.14%和 3.14%,差异显著;GC 处理的 SOD 酶活性在苗期、分蘖期、齐穗期和成熟期分别比 GCK 处理提高了 19.29%、6.33%、15.45%和 3.21%,差异显著。表明超声波处理可以提高水稻整个生育期的 SOD 酶活性。

2.3 超声波处理对叶片 POD 活性的影响

从表 3 可以看出,与对照相比,超声波处理可以提高水稻叶片的 POD 酶活性,各个时期表现趋势基本一致,但略有差异。除孕穗期以 BC 处理最高外,其他时期均以 GC 处理的值最高。BC 处理的 POD 酶活性在苗期、分蘖期、孕穗期和成熟期分别比 BCK 处理提高了 10.62%、18.95%、10.01%和 19.14%,差异显著;GC 处理的 POD 酶活性在各时期分别比 GCK 处理提高了 17.76%、6.22%、29.28%、43.60%和 26.00%,差异显著。表明超声波处理可以提高水稻整个生育期的 POD 酶活性。

2.4 超声波处理对水稻叶片 MDA 含量的影响

从表 4 可以看出,与对照相比,超声波处理可以降低水稻叶片 MDA 的含量,各个时期表现趋势基本一致,但略有差异。除齐穗期外,均以 BC 处理的值最低。BC 处理在孕穗期、齐穗期和成熟期的 MDA 含量分别比 BCK 处理降低了 45.10%、25.46%和 21.33%,差异显著;GC 处理在分蘖期、孕穗期和齐穗期时的 MDA 含量

表 4 超声波处理对叶片 MDA 含量的影响 (μmol/g)

| 处理  | 苗期      | 分蘖期     | 孕穗期    | 齐穗期     | 成熟期     |
|-----|---------|---------|--------|---------|---------|
| BC  | 6.70 b  | 5.71 b  | 4.71 d | 8.17 b  | 12.61 b |
| GC  | 7.33 ab | 6.08 b  | 6.20 c | 8.16 b  | 15.72 a |
| BCK | 7.21 ab | 6.64 ab | 8.58 b | 10.96 a | 16.03 a |
| GCK | 8.35 a  | 7.84 a  | 9.78 a | 11.60 a | 17.19 a |

表 5 超声波处理对水稻产量及产量构成的影响

| 处理  | 有效穗数<br>(×10 <sup>4</sup> 穗/hm <sup>2</sup> ) | 每穗粒数<br>(粒) | 结实率<br>(%) | 千粒重<br>(g) | 实际产量<br>(t/hm <sup>2</sup> ) |
|-----|---|-------------|------------|------------|------------------------------|
| BC  | 210.00 a                                      | 196.99 a    | 77.35 a    | 22.07 a    | 7.67 a                       |
| GC  | 211.67 a                                      | 195.64 a    | 73.28 bc   | 21.52 a    | 6.60 b                       |
| BCK | 195.00 ab                                     | 186.11 b    | 73.70 b    | 21.43 a    | 6.77 b                       |
| GCK | 186.67 b                                      | 173.88 c    | 71.39 c    | 21.38 a    | 6.20 b                       |

表 6 超声波处理对稻米品质的影响

| 处理  | 糙米率<br>(%) | 精米率<br>(%) | 整精米率<br>(%) | 垩白粒率<br>(%) | 垩白度<br>(%) | 长宽比     | 胶稠度<br>(mm) | 直链淀粉含量<br>(%) | 蛋白质含量<br>(%) |
|-----|------------|------------|-------------|-------------|------------|---------|-------------|---------------|--------------|
| BC  | 81.55 a    | 72.20 a    | 55.96 a     | 3.38 c      | 1.50 bc    | 3.49 ab | 99.75 a     | 13.15 d       | 6.85 b       |
| GC  | 81.10 ab   | 71.44 ab   | 57.42 a     | 2.53 c      | 0.72 c     | 3.63 a  | 96.02 a     | 13.98 c       | 6.42 b       |
| BCK | 80.69 b    | 71.32 ab   | 51.86 b     | 9.59 b      | 2.55 b     | 3.40 b  | 80.74 b     | 16.54 a       | 8.66 a       |
| GCK | 79.96 c    | 70.61 b    | 48.39 c     | 10.81 a     | 4.15 a     | 3.46 ab | 81.72 b     | 15.11 b       | 8.34 a       |

分别比 GCK 处理降低了 22.45%、36.61%和 29.66%,差异显著。表明超声波处理可以降低移栽后水稻叶片的 MDA 含量。

2.5 超声波处理对水稻产量及产量构成的影响

从表 5 可以看出,与对照相比,超声波处理可以提高水稻的产量,以 BC 处理的产量最高。产量增加主要是由于超声波处理增加了有效穗数、每穗粒数和结实率,而对千粒重无显著影响。BC 处理的每穗粒数、结实率比 BCK 处理提高了 5.85%和 4.95%,差异显著;GC 处理的有效穗数、每穗粒数比 GCK 处理提高了 13.39%和 12.51%,差异显著。

2.6 超声波处理对稻米品质的影响

从表 6 可以看出,在稻米加工品质上,超声波处理的稻米糙米率、精米率和整精米率均高于对照,以 BC 处理的糙米率、精米率最高,GC 处理的整精米率最高。BC 处理的糙米率、整精米率显著高于 BCK 处理,GC 处理的糙米率、整精米率显著高于 GCK 处理。

在稻米外观品质上,与对照相比,超声波处理可以降低稻米的垩白粒率和垩白度,以 GC 处理的值最低。BC 处理的垩白粒率比 BCK 处理降低了 64.75%,GC 处理的垩白粒率和垩白度分别比 GCK 处理降低了 76.60%和 82.65%,差异显著。BC 处理与 BCK 处理、GC 处理与 GCK 处理的长宽比无显著差异。

在稻米蒸煮品质上,与对照相比,超声波处理可以提高稻米的胶稠度,降低直链淀粉含量和蛋白质含量,以 BC 处理的胶稠度值最高、直链淀粉含量最低。BC 处

理的胶稠度比 BCK 处理提高了 23.54%,直链淀粉含量和蛋白质含量比 BCK 处理分别低 20.50%和 20.90%,差异显著;GC 处理的胶稠度比 GCK 处理显著提高了 17.50%,直链淀粉含量和蛋白质含量比 GCK 处理分别低了 7.48%和 23.02%,差异显著。

3 讨论与结论

超声波具有能量高、穿透力强等特点,可作为一种物理肥料,加速植物细胞内部物质的氧化、还原、分解和合成。超声波处理作物种子就是利用超声波所产生的强烈振动对种子进行刺激,引起种子物理性能及生理活性变化,选择和利用其有利效应的功能,从而达到提高发芽率、促进作物生长、增加作物产量的效果<sup>[13-15]</sup>。

本试验结果表明,与对照相比,超声波处理可以提高水稻产量,以 BC 处理的产量最高。从产量构成因素来看,主要是由于超声波处理提高了有效穗数、每穗粒数和结实率。其可能的原因是超声波处理后,提高了幼苗的抗逆性,有利于形成壮秧,在移栽大田后,有利于主茎的生长,易于形成低位分蘖。

与对照相比,超声波处理可以改善稻米的加工品质与外观品质,这与前人的研究结果一致<sup>[16-17]</sup>。

游离脯氨酸是最有效的渗透调节物质之一,它能提高细胞液浓度,降低其渗透势,保护原生质与环境的渗透平衡,防止水分散失,保护膜结构的完整性,从而提高植物对胁迫环境的适应性,在逆境条件下,作物体内游离脯氨酸含量明显增加,而且作物体内游离脯氨



酸含量与作物的抗逆性呈正相关<sup>[18-19]</sup>。本试验研究发现,与 GCK 处理相比,超声波处理可以提高水稻整个生育期的游离脯氨酸含量,以 BC 处理的含量最高。

当水稻受到逆境胁迫时,抗逆性较差的水稻植株其 SOD、POD 等保护酶系统被破坏,平衡被打破,自由基积累增多,就会使膜脂产生脱脂化作用,磷脂游离导致细胞膜结构损坏,由此产生一系列生理生化紊乱,最终导致植物死亡。MDA 是膜脂过氧化分解的产物,能影响细胞膜的结构,干扰正常的生理代谢,MDA 对细胞有毒性,能够引起细胞膜功能紊乱,且对许多功能分子有破坏作用,是植物细胞损伤的直接原因<sup>[20-21]</sup>。本试验发现,与 GCK 相比,超声波和包衣处理可以提高水稻叶片的 SOD、POD 酶活性,降低 MDA 含量。因而,超声波和包衣处理可以调节水稻细胞膜保护酶类的活性,防止膜脂过氧化,维持膜的完整性,有利于提高秧苗的素质,这对培育壮秧提供了一个新的途径。

因本试验只对粤晶丝苗进行了大田试验,也没有经过不同气候条件的验证,加上超声波刺激生物效应的机理十分复杂,因此还需继续进行试验研究。

#### 参考文献

- [1] 徐正进,陈温福,张龙步,等.水稻高产生理研究的现状与展望[J].沈阳农业大学学报,1991,22(S1):115-123.
- [2] 聂俊,严卓晟,肖立中,等.籼稻干种子经超声波和包衣处理后的发芽和根系生长变化[J].华北农学报.2014,29(2):181-187.
- [3] Jebara S, Jebara M, Limam F, et al. Changes in ascorbate peroxidase, catalase, guaiacol peroxidase and superoxide dismutase activities in common bean (*Phaseolus vulgaris*) nodules under salt stress [J]. *J Plant Physiol*, 2005, 162(8): 929-936.
- [4] Santos R, Herouart D, Puppo A, et al. Critical protective role of bacterial superoxide dismutase in Rhizobium-legume symbiosis [J]. *Mol Microbiol*, 2000, 38(4): 750-759.
- [5] Matamoros M A, Dalton D A, Ramos J, et al. Biochemistry and molecular biology of antioxidants in the rhizobia-legume symbiosis [J]. *Plant Physiol*, 2003, 133(2): 499-509.
- [6] Yamauchi Y, Furutera A, Seki K, et al. Malondialdehyde generated from peroxidized linolenic acid causes protein modification in heat-stressed plants[J]. *Plant Physiol Biochem*, 2008, 46(8-9): 786-793.
- [7] Davey M W, Stals E, Panis B, et al. High-throughput determination of malondialdehyde in plant tissues[J]. *Anal Biochem*, 2005, 347(2): 201-207.
- [8] Ben R K, Abdelly C, Savoure A. Proline, a multifunctional amino-acid involved in plant adaptation to environmental constraints [J]. *Biol Aujourd'hui*, 2012, 206(4): 291-299.
- [9] Szabados L, Savoure A. Proline: a multifunctional amino acid [J]. *Trends Plant Sci*, 2010, 15(2): 89-97.
- [10] 郝再彬,苍晶,徐冲.植物生理实验[M].哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2004:104-106.
- [11] 李合生.植物生理生化试验原理和技术[M].北京:高等教育出版社,2000:258-260.
- [12] 国家质量技术监督局.中华人民共和国国家标准 GB/T17891-199 优质稻谷[M].北京:中国标准出版社,1999:78-98.
- [13] 杨君丽,董汇泽,侯全刚,等.超声波对 2 种蔬菜种子萌发能力的影响[J].种子,2011,30(12):97-98.
- [14] 庄南生,王英,唐燕琼,等.超声波处理柱花草种子的生物学效应研究[J].草业科学,2006,23(3):80-82.
- [15] Liu Y, Yang H, Sakanishi A. Ultrasound: Mechanical gene transfer into plant cells by sonoporation[J]. *Biotechnol Adv*, 2006, 24(1): 1-16.
- [16] 聂俊,严卓晟,肖立中,等.超声波处理对水稻发芽特性及产量和品质的影响[J].广东农业科学,2013,40(1):13-15.
- [17] 黎国喜,严卓晟,闫涛,等.超声波刺激对水稻的种子萌发及其产量和品质的影响[J].中国农学通报,2010,26(7):108-111.
- [18] 焦蓉,刘好宝,刘贯山,等.论脯氨酸累积与植物抗渗透胁迫[J].中国农学通报,2011,27(7):216-221.
- [19] Stein H, Honig A, Miller G, et al. Elevation of free proline and proline-rich protein levels by simultaneous manipulations of proline biosynthesis and degradation in plants [J]. *Plant Sci*, 2011, 181(2): 140-150.
- [20] 杨淑慎,高俊凤.活性氧、自由基与植物的衰老[J].西北植物学报,2001,21(2):215-220.
- [21] 石福臣,鲍芳.盐和温度胁迫对外来种互花米草 (*Spartina alterniflora*) 生理生态特性的影响 [J].生态学报,2007,27(7):2733-2741.

## Effects of Ultrasound on Physiological Characters, Yield and Quality of Rice Yuejingsimiao

LUO Haowen, ZHONG Zhuojun, NIE Jun, TANG Xiangru\*

(College of Agriculture, South China Agricultural University/Scientific Observing and Experimental Station of Crop Cultivation in South China, Ministry of Agriculture, Guangzhou 510642, China; 1st author: 1098063504@qq.com; \*Corresponding author: tangxr@scau.edu.cn)

**Abstract:** A field experiment was carried out to study the effects on physiological characters, yield and quality of ultrasonic processing coated and uncoated rice seeds, taking Yuejingsimiao as materials. The results showed that ultrasonic treatment could improve the yield of rice, and the yield of ultrasonic processing coated seeds treatment was the highest, because the ultrasonic treatment increased the effective panicles, grains number per panicle and seed setting rate. What's more, ultrasonic processing could increase SOD and POD activities and free proline contents, decrease MDA contents and improve the resistance of rice. In addition, ultrasonic treatment could also improve processing quality and appearance quality of rice.

**Key words:** rice; ultrasonic wave; resistance; yield; quality