

甘林, 何心怡, 郑秀琴, 等. 酸性氧化电位水对玉米种子表面微生物的抑制作用及其安全性评价 [J]. 福建农业学报, 2022, 37 (11): 1454–1462.
GAN L, HE X Y, ZHENG X Q, et al. Inhibition by Acid Electrolyzed Oxidizing Water on Surface Microbes and Safety of Maize Seeds [J]. *Fujian Journal of Agricultural Sciences*, 2022, 37 (11): 1454–1462.

酸性氧化电位水对玉米种子表面微生物的抑制作用及其安全性评价

甘 林¹, 何心怡^{1,2}, 郑秀琴³, 代玉立¹, 卢学松^{1*}, 杨秀娟^{1*}

(1. 福建省农业科学院植物保护研究所/福建省作物有害生物监测与治理重点实验室/福建省作物有害生物绿色防控工程研究中心, 福建 福州 350013; 2. 福建农林大学植物保护学院, 福建 福州 350002;
3. 福建省种子总站, 福建 福州 350001)

摘 要:【目的】探明酸性氧化电位水(简称酸化水)对玉米种子表面微生物的抑制作用及其对种子发芽、出苗的影响。【方法】以福建主栽玉米品种泰鲜甜1号和泰鲜甜2号为材料,采用酸化水与玉米种子表面微生物菌悬液及种子混合法,检测菌悬液的含菌量和种子的带菌率,调查种子出芽率、出苗率、苗鲜重等指标。【结果】结果表明,酸化水对玉米种子表面微生物有较好的抑菌作用,在泰鲜甜1号、泰鲜甜2号 $V(\text{种子菌悬液}):V(\text{酸化水})=1:2$ 及 $m(\text{种子}/\text{mg}):V(\text{酸化水}/\text{mL})=125:2$ 混合6h后,从菌悬液中检出的菌量分别为0.44、0 cfu·mL⁻¹,检出的种子带菌率分别为14.00%和7.33%,而空白对照的2个品种菌悬液菌量均高于10 000 cfu·mL⁻¹,种子带菌率均为100%。从酸化水处理的带菌种子中,检出的细菌和真菌出现频率分别为1.33%和20.00%,其中镰孢菌属真菌在所有携带真菌的种子中出现频率最高。安全性试验结果表明,种子用酸化水处理6h后,与各自的对照相比,在未接种病原菌的试验组中,泰鲜甜1号和泰鲜甜2号2个品种的种子出芽率、芽长、主胚根长和胚根数分别提高了13.33%和8.66%、0.32 cm和0.55 cm、0.73 cm和0.42 cm、0.16条和0.07条;而在预先接种病原菌拟轮枝镰孢菌试验组中,2个品种的种子出芽率、芽长、主胚根长和胚根数分别比其对照提高了17.04%和6.67%、0.54 cm和0.33 cm、1.89 cm和0.40 cm、0.60条和0.26条,在预先接种病原菌假单胞杆菌试验组中,2个品种的种子出芽率、芽长、主胚根长和胚根数分别比其对照提高了35.34%和28.66%、0.85 cm和0.30 cm、2.30 cm和1.70 cm、0.76条和0.36条。此外,泰鲜甜1号和泰鲜甜2号种子用酸化水处理6h后,出苗率分别比对照提高了5.33%和8.00%,株高和地上部鲜重与对照无明显差别。【结论】酸化水处理能有效抑制玉米种子表面微生物活性,对细菌的抑制效果优于真菌,且对种子出芽和出苗安全,不同程度上促进了种子的萌发和幼苗的生长。酸化水可作为一种新型的玉米种子消毒剂。

关键词: 玉米种子; 酸性氧化电位水(酸化水); 微生物; 抑制作用; 安全性

中图分类号: S 432.1

文献标志码: A

文章编号: 1008-0384 (2022) 11-1454-09

Inhibition by Acid Electrolyzed Oxidizing Water on Surface Microbes and Safety of Maize Seeds

GAN Lin¹, HE Xinyi^{1,2}, ZHENG Xiuqin³, DAI Yuli¹, LU Xuesong^{1*}, YANG Xiujuan^{1*}

(1. *Fujian Engineering Research Center for Green Pest Management/Fujian Key Laboratory for Monitoring and Integrated Management of Crop Pests, Institute of Plant Protection, Fujian Academy of Agricultural Sciences, Fuzhou, Fujian 350013, China*; 2. *College of Plant Protection, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou, Fujian 350002, China*;
3. *Fujian Seed Station, Fuzhou, Fujian 350001, China*)

收稿日期: 2022-07-12 初稿; 2022-08-29 修改稿

作者简介: 甘林(1981-), 男, 硕士, 助理研究员, 研究方向: 植物病害防治 (E-mail: millergan@yeah.net)

* 通信作者: 卢学松(1969-), 男, 学士, 副研究员, 研究方向: 植物病害防治 (E-mail: 2374632124@qq.com); 杨秀娟(1972-), 女, 硕士, 研究员, 研究方向: 植物病害防治 (E-mail: yxjb@126.com)

基金项目: 福建省科技计划公益类专项(2021R1024005); 福建省农业高质量发展超越“5511”协同创新工程项目(XTCXGC2021011、XTCXGC2021017); 福建省农业科学院科技创新团队建设项目(CXTD2021002-1); 福建省农业科学院科技创新平台专项(CXPT202105)

Abstract: 【Objective】 Effects of acid electrolyzed oxidizing water (AEOW) treatment on the microorganisms on the surface and germination of maize seeds and seedling emergence were investigated. 【Method】 Seeds of the major varieties cultivated in Fujian, Taixiantian No. 1 and Taixiantian No. 2, were mixed with AEOW. Microbial counts on the seed surface and in the surface rinse, rates of infection, seed germination, and seedling emergence as well as seedling fresh weight were determined.

【Result】 AEOW significantly inhibited the microbial growth on the seed surface as indicated by the counts in the seed surface rinses and the AEOW/maize seeds mixtures. The suspension of AEOW/seed rinse at 1 : 2 (mL/mL) ratio had a count of $0.44 \text{ cfu} \cdot \text{mL}^{-1}$ in comparison to more than $10\,000 \text{ cfu} \cdot \text{mL}^{-1}$ of CK. In the liquid after 6 h submerging the seeds in AEOW at the ratio of 125 : 2 (mg/mL), the count was nil. On the seed infection rates, the rinse was 14.00% and the mixture liquid 7.33% in comparison to control of 100%. The frequency of bacterial appearances on the treatment seeds was 1.33% and that of fungal, 20.00%, largely *Fusarium* spp. As for the safety concerns, the AEOW-treated Taixiantian No. 1 seeds increased on germination rate by 13.33%, bud length by 0.32 cm, main radicle length by 0.73 cm, and radicle number of seeds by 0.16, while the treated Taixiantian No. 2, by 8.66%, by 0.55 cm, by 0.42 cm, and by 0.07, respectively. The treated seeds of with a *Fusarium verticillium* pre-inoculation increased on germination rate, bud length, main radicle length, and radicle number of Taixiantian No. 1 and Taixiantian No. 2 seeds by 17.04% and 6.67%, 0.54 cm and 0.33 cm, 1.89 cm and 0.40 cm, 0.60 and 0.26, respectively; and those with a *Pseudomonas* spp. pre-inoculation, by 35.34% and 28.66%, 0.85 cm and 0.30 cm, 2.30 cm and 1.70 cm, 0.76 and 0.36, respectively. The seedling emergence rates of the two treated maize varieties increased by 5.33% and 8.00%, respectively, but not significantly differed between them and control with respect to plant height and shoot fresh weight. 【Conclusion】 The AEOW treatment effectively inhibited the presence and growth of microbes on maize seed surface with a more pronounced effect on bacteria than on fungi. The treatment benefitted and was safe for germination and seedling emergence of the AEOW-disinfected seeds.

Key words: Maize seed; acid electrolyzed oxidizing water; microorganism; inhibitory effect; safety

0 引言

【研究意义】玉米是我国重要的粮食作物，玉米种子表面携有大量微生物，这些微生物有可能是影响玉米种子出芽、出苗的病原菌，也有可能是田间作物生长期侵染性致病菌，如引起根茎腐病、鞘腐病、穗腐病、顶腐病、丝黑穗病发生的病原真菌和细菌^[1]。为了提高玉米种子的出芽率，避免播种后种子携带的病原菌进入土壤，在玉米生长季节引发病害发生，采用合理的方式进行玉米种子表面微生物广谱性消毒处理具有重要的意义。【前人研究进展】当前，对种子常见的消毒方法主要有采用福尔马林、次氯酸钠、农用链霉素、苯醚甲环唑等化学消毒剂或杀菌剂处理^[2-5]，而采用化学杀菌剂浸种或拌种是玉米种子杀菌消毒处理最常用的技术，已有研究表明采用苯醚甲环唑浸种处理能预防玉米真菌性病害丝黑穗病、茎基腐病发生^[5]，但药剂浸种处理靶标性强，对药剂浓度、剂型、药种比、时间要求严格，使用不当易引起药害，不利于出苗或效果不佳。酸性氧化电位水（Acid electrolyzed oxidizing water, AEOW），简称酸化水，是电解水中酸性最强、杀菌率最高的一种新型广谱、高效、环保消毒剂^[6]。该酸化水系普通自来水中加入低浓度氯化钠（溶液浓度小于 0.1%），经电解处理后，从阳极区生成具有低浓度有效氯（50~102 ppm）、高氧化还原电位（ORP 值 $\geq 1\,100 \text{ mV}$ ）和低 pH 值（pH 2.0~3.0）的酸

性水溶液，其成分主要为氯气、次氯酸、盐酸等^[7]。其杀菌机理主要是低 pH 值可破坏病原微生物的生存环境， H^+ 离子透过微生物细胞膜，间接参与微生物的代谢过程，导致杀灭、抑制微生物；而高氧化还原电位值则影响微生物的呼吸和能量代谢，改变病原微生物细胞膜电位，增强膜的透性，导致细胞肿胀崩解，使微生物迅速死亡；酸化水中的有效氯也具有直接杀菌作用，上述 3 个杀菌因子的协同联合作用使酸化水能达到快速杀灭病原微生物的目的^[8-9]。酸化水最先用于医药领域，经多年的研究、实践，人们对其杀菌的有效性、安全性、不留残毒、有利于环保等优点形成共识，现已在医疗领域广泛应用^[10-13]。酸化水也常作为绿色杀菌剂应用于食品、环保、农业等行业^[8,14]，对果蔬、肉类和水产品具有防腐保鲜、降解农残等功效，在食品加工上也具有极大的应用前景^[15-17]。在农业上，目前主要用于防治作物病害和改良土壤^[18-20]，有研究表明，喷施酸化水对小麦赤霉病^[20]，黄瓜白粉病^[21-22]，黄瓜霜霉病^[18,23]，稻曲病^[24]具有较好的防病效果。【本研究切入点】因酸化水在田间病害防治应用上存在防治次数多、用液量大、使用成本高等问题，限制了酸化水在农业植物病害防治中的推广。然而，关于利用酸化水对作物种子表面微生物消毒作用有待进一步探讨。【拟解决的关键问题】我国是一个农业大国，农业生产过程中农药使用量大，为拓展酸化水在农业生产中的应用领域，探索其对玉米种子表面

微生物或病原菌的杀菌效果, 预防种传病害发生的风险性, 本研究测定并评价了酸化水对玉米种子表面微生物的抑制作用及其对玉米种子出芽和出苗的安全性, 旨在为农业生产实践中合理使用酸化水和减少农药用量提供参考。

1 材料与方法

1.1 酸性氧化电位水

酸性氧化电位水由杭州美美科技有限公司生产提供(有效氯含量: $90 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 氧化还原电位 $> 1100 \text{ mv}$, pH 值: 3)。

1.2 玉米品种

福建省主栽鲜食玉米品种泰鲜甜 1 号和泰鲜甜 2 号, 由福建省圆旺园种子集团有限公司提供。

1.3 病原菌菌株

玉米鞘腐病病原菌拟轮枝镰孢菌 PNQF18 (*Fusarium verticillium*) 和玉米茎腐病病原菌假单胞杆菌 MHXJ01 (*Pseudomonas* spp.) 由福建省农业科学院植物保护研究所提供。

1.4 试验方法

1.4.1 酸化水不同处理对玉米种子表面离体微生物的抑制作用 取泰鲜甜 1 号、泰鲜甜 2 号种子各 15 粒 [百粒重 (12.5 ± 0.6) g] 放入装有 30 mL 无菌水的灭菌离心管 (50 mL) 中, 28°C 、 $80 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ 振荡 6 h, 制备种子表面微生物菌悬液。吸取 2 个品种菌悬液各 1 mL, 与酸化水依次按体积比 1:1、1:2、1:5、1:10 的比例均匀混合于灭菌的试管 (15 mm×150 mm) 内, 分别静置 0.5、1.0、2.0、4.0、6.0 h 后, 每处理各吸取 0.20 mL 混合液均匀涂布于直径 9 cm 的 PDA 平板上, 无菌条件下吹干培养基表面多余水分, 置于 20°C 条件下培养 2 d, 计数平板菌落数, 计算每 mL 菌悬液中的含菌量, 以无菌水代替酸化水, 即将菌悬液与无菌水按体积比 1:10 的比例混合后的液体静置 6 h 为空白对照。每处理共检测 3 皿, 试验重复 3 次。

1.4.2 酸化水不同处理对玉米种子带菌率的影响 取供试种子各 50 粒于灭菌的三角瓶中, 分别加入酸化水 50、75 和 100 mL, 使种子与酸化水依次按质量体积比 (mg/mL) 125:1、125:1.5 和 125:2, 28°C 、 $80 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ 分别振荡处理 1、2、4、6 h 后, 将种子移入 PDA 平板上, 25°C 黑暗条件下培养 5 d, 检测平板种子带菌情况。以用 100 mL 无菌水代替酸化水振荡处理种子 6 h 为空白对照, 试验重复 3 次。另从酸化水 3 种用量处理 1、2、4、6 h 的种子中, 等量抽样调查 150 粒种子携带细菌或真菌情况, 统计酸化

水不同处理时间各类菌株出现频次和出现频率(同时出现细菌和真菌的个别种子归为携带细菌的种子)。种子带菌率/%=(带菌种子数/供试种子数)×100; 菌株出现频率/%=(菌株出现的种子数/带菌种子数)×100。

1.4.3 酸化水不同处理对玉米种子出芽和胚根生长的影响 试验分别设为病原真菌预先接种组、病原细菌预先接种组和未接种组。参照田艳丽^[25]的方法进行玉米种子外源病菌接种处理。取泰鲜甜 1 号、泰鲜甜 2 号种子各 300 粒于灭菌的三角瓶中, 分别用 150 mL 拟轮枝镰孢菌菌液 (1×10^8 个孢子· mL^{-1}) 和假单胞杆菌菌液 (1×10^{10} cfu· mL^{-1}) 于 20°C 、 $80 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ 振荡浸泡处理 2 h, 制备病原真菌和细菌预先接种的玉米病种, 以无菌水替代病菌菌液为玉米未接种组。另从试验的 3 组中, 每组取泰鲜甜 1 号、泰鲜甜 2 号种子各 50 粒, 分别放入装有 100 mL 酸化水的灭菌三角瓶中, 参照 1.4.2 的方法采用酸化水处理 4 h 和 6 h 后, 取出各处理种子放入 75% 酒精擦拭过并铺设湿润无菌滤纸的方形塑料盒内 (30 cm×20 cm×15 cm), 于 22°C 黑暗条件下培育 5 d 后, 观察种子出芽情况, 计算出芽率(以芽长高于 0.4 cm 视为出芽)。从各处理出芽的种子中随机测量 10~15 粒种子芽长、主胚根长, 计数胚根数。以用等量的无菌水替代酸化水处理种子 6 h 为空白对照, 试验重复 3 次。出芽率/%=(出芽种子数/供试种子数)×100。

1.4.4 酸化水处理对不同玉米品种出苗和植株生长的影响 取泰鲜甜 1 号、泰鲜甜 2 号种子各 50 粒, 分别放入装有 100 mL 酸化水的三角瓶中, 参照 1.4.2 的方法采用酸化水处理 6 h 后, 取出种子播种于含营养基质的育苗盘中, 每穴播种 1 粒种子, 于 (22 ± 2) $^\circ\text{C}$ 温室条件下育苗 16 d, 观察种子出苗情况, 计算出苗率(以苗高于 2 cm 视为出苗)。从各处理出苗的植株中随机选取 10~15 株玉米苗, 测量其株高(茎基部至次新叶叶鞘基部), 并对其地上部鲜重进行称重。以用等量的无菌水替代酸化水处理种子 6 h 为空白对照, 试验重复 3 次。出苗率/%=(出苗种子数/供试种子数)×100。

1.5 数据统计及分析

试验数据采用 Excel 2007 和 DPS 7.5 软件进行统计与分析。

2 结果与分析

2.1 酸化水不同处理对玉米种子表面微生物的抑制作用 泰鲜甜 1 号和泰鲜甜 2 号种子表面含有大量的微

生物，其 15 粒种子与 30 mL 无菌水混匀后，获得的微生物菌悬液含菌量均高于 10 000 cfu·mL⁻¹。酸化水 4 种不同用量和 5 种时间处理组合的抑菌效果如表 1 所示，泰鲜甜 1 号、泰鲜甜 2 号种子菌悬液与酸化水按（mL/mL）1：5 和 1：10 比例混匀 0.5~6.0 h 后，检出的菌量均低于 2 cfu·mL⁻¹，而与酸化水按 1：1 比例混匀 0.5~6.0 h 后，检出的菌量分别在 7.67~100.44 cfu·mL⁻¹ 和 2.00~16.11 cfu·mL⁻¹。酸化水处理 0.5 h 和 1.0 h，2 个品种菌悬液与酸化水按 1：5 和 1：10

比例混匀后，检出的菌量显著少于两者按 1：1 和 1：2 比例处理的菌量，而在 1：1 比例处理的 2、4、6 h 混合液中检出的菌量显著少于 0.5 h 和 1.0 h 混合液中的菌量。表明酸化水处理对玉米种子表面微生物有抑制作用，菌悬液与酸化水按不同比例混匀后，随着酸化水用量增加及作用时间的延长，检测出的菌量越少，采用酸化水 2 倍用量处理种子表面微生物菌悬液 6 h 便可达到较好的抑菌效果。

表 1 酸化水不同处理对玉米种子表面微生物菌悬液含菌量的影响
Table 1 Effects of AEOW treatment on microbial count of maize seed surface rinse

品种 Varieties	时间 Time/h	菌量 colony amount (cfu·mL ⁻¹)				对照 Control
		菌悬液：酸化水 MS：AEOW 1：1	菌悬液：酸化水 MS：AEOW 1：2	菌悬液：酸化水 MS：AEOW 1：5	菌悬液：酸化水 MS：AEOW 1：10	
泰鲜甜1号 Taixiantian NO.1	0.5	100.44±9.96 Aa	17.78±1.07 Dd	0.67±0.67 Gf	0.44±0.51 Gf	—
	1	73.22±3.08 Bb	14.89±3.24 DEd	0.22±0.19 Gf	0.00±0.00 Gf	—
	2	29.11±6.71 Cc	2.00±0.88 Gf	0.00±0.00 Gf	0.00±0.00 Gf	—
	4	9.56±2.14 EFe	0.67±0.33 Gf	0.00±0.00 Gf	0.00±0.00 Gf	—
	6	7.67±2.00 FGe	0.44±0.73 Gf	0.00±0.00 Gf	0.00±0.00 Gf	>10000
泰鲜甜2号 Taixiantian NO.2	0.5	16.11±4.67 Aa	10.00±5.24 Bb	1.22±0.84 DEde	0.89±0.51 Ede	—
	1	9.00±0.58 BCb	5.33±1.20 CDc	0.44±0.51 Ede	0.00±0.00 Ee	—
	2	5.33±0.67 CDc	2.33±1.53 DEcde	0.00±0.00 Ee	0.00±0.00 Ee	—
	4	3.44±1.58 DEcd	1.44±0.51 DEde	0.00±0.00 Ee	0.00±0.00 Ee	—
	6	2.00±1.00 DEde	0.00±0.00 Ee	0.00±0.00 Ee	0.00±0.00 Ee	>10000

①不同大小写字母表示经Duncan氏新复极差法检验在 $P<0.01$ 和 $P<0.05$ 水平差异显著；表2~6同。②MS：菌悬液；AEOW：酸化水。
① Data with different capital letters and lowercase letters on same column indicate significant differences at $P<0.01$ and $P<0.05$, respectively, according to Duncan's new multiple range method. The same as Table 2-6. ②MS: Microbial suspension; AEOW: Acid electrolyzed oxidizing water.

2.2 酸化水不同处理对玉米种子带菌率的影响

未经酸化水处理的泰鲜甜 1 号和泰鲜甜 2 号种子带菌率均为 100%。将种子与酸化水按不同用量比例混匀后，酸化水 3 种用量和 4 种处理时间组合的抑菌效果如表 2 所示，在酸化水相同时间处理下，2 个品种种子与酸化水按（mg/mL）125：2 比例混匀后，种子带菌率显著低于两者按 125：1.5 和 125：1 比例的处理，而在酸化水相同用量下，试验的 4 种处理时间，均以酸化水处理 6 h 时的种子带菌率最低。其中泰鲜甜 1 号、泰鲜甜 2 号种子与酸化水按 125：2 比例浸泡振荡处理 6 h，检出的种子带菌率分别为 14.00% 和 7.33%，显著低于酸化水另两种用量处理 1、2、4 h 的种子带菌率。表明酸化水处理对玉米种子有较好的表面消毒作用，酸化水用量增加及作用时间的延长，其消毒效果越好。

2.3 酸化水不同处理对玉米种子真菌和细菌出现频率的影响

在 2.2 两个品种酸化水不同时间处理的种子中，

其细菌、真菌出现频率如表 3 所示，种子经酸化水处理 1、2、4、6 h 后，细菌出现的频率分别为 15.33%、9.33%、4.67%、1.33%，真菌出现的频率分别为 50.00%、32.67%、25.33% 和 20.00%。表明酸化水处理对种子携带的细菌、真菌有明显的抑制作用，其中以对细菌抑制效果明显优于真菌，随着处理时间越长，酸化水抑制效果越好，种子携带细菌、真菌频率越低。而在携带真菌的种子中，以镰孢菌属真菌出现频率明显高于其他真菌，为种子携带的优势型真菌，如种子经酸化水处理 6 h 后，镰孢菌属真菌出现频率为 16.00%，而曲霉和青霉等真菌的出现频率仅为 4.00%。未经酸化水处理的种子多以细菌或以细菌和真菌混合出现，但其真菌种类判别受到了细菌的影响。

2.4 酸化水处理对玉米种子出芽和胚根生长的影响

从表 4 和表 5 可知，在未接种外源病原菌的试验组中，与空白对照相比，泰鲜甜 1 号和泰鲜甜 2 号种子采用种子与酸化水按（mg/mL）125：2 处理种

表 2 酸化水不同处理对玉米种子带菌率的影响

Table 2 Effect of AEW treatment on bacteria-retention rate of maize seeds

处理 Treatment		种子带菌率 Seed infection rate/%	
种子Seed:酸化水 AEOW (mg):(mL)	时间 Time/h	泰鲜甜1号 Taixiantian NO.1	泰鲜甜2号 Taixiantian NO.2
125:1	1	87.00±7.00 Ab	73.33±5.03 Bb
	2	63.67±4.73 BCc	48.67±4.16 Dd
	4	46.00±6.00 DEd	32.00±4.00 Ee
	6	32.00±7.21 EFf	14.67±4.16 GHg
125:1.5	1	69.33±7.57 Bc	62.67±6.11 Cc
	2	44.67±4.16 DEd	34.67±7.02 Ee
	4	43.33±3.06 DEde	22.00±3.46 FGf
	6	24.67±7.02 FGf	10.00±2.00 Hg
125:2	1	52.00±7.21 CDd	50.00±5.29 Dd
	2	34.00±9.17 EFef	28.67±3.06 EFef
	4	28.67±4.16 Ff	9.33±2.31 Hg
	6	14.00±3.46 Gg	7.33±2.31 Hg
对照 Control	6	100.00±0.00 Aa	100.00±0.00 Aa

子 4 h 和 6 h，均能明显提高种子出芽率、促进芽和胚根生长，2 个处理时间对种子萌芽的影响效果相当。其中，当种子用酸化水处理 6 h 后，泰鲜甜 1 号出芽率、芽长、主胚根长和胚根数分别为 73.33%、3.69 cm、9.85 cm 和 4.92 条，比对照分别提高了 13.33%、0.32 cm、0.73 cm 和 0.16 条，泰鲜甜 2 号也比对照分别提高了 8.66%、0.55 cm、0.42 cm 和 0.07 条。

而在预先接种外源病原真菌拟轮枝镰孢菌、病原细菌假单孢杆菌组中，与未接种组的空白对照相比，泰鲜甜 1 号和泰鲜甜 2 号种子出芽率、芽长、胚根数和主胚根长度明显受到抑制，其中以病原细菌对种子萌发的抑制作用更强，差异达显著性水平。所有接种病菌的种子用酸化水分别处理 4 h 和 6 h 后，其出芽率、芽长、胚根数和主胚根长度均有不同程度提高。如在接种病原真菌组中，泰鲜甜 1 号种子用酸化水分别处理 6 h 后，其出芽率、芽长、主胚根长度和胚根数分别为 68.37%、3.22 cm、9.44 cm 和 5.16 条，分别比其对照（接种病原真菌，未用酸化水处理）提高了 17.04%、0.54 cm、1.89 cm 和

表 3 酸化水不同处理时间对玉米种子真菌和细菌出现频率的影响

Table 3 Effects of AEW treatment time on bacterial and fungal occurrence frequency on seeds

时间 Time/h	出现频率 Frequent/%				
	细菌 Bacteria	真菌 Fungi	镰孢菌 Fusarium	曲霉/青霉 Aspergillus/Penicillium	其他真菌 Other fungi
1	15.33	50.00	34.67	12.00	3.33
2	9.33	32.67	23.33	8.00	1.33
4	4.67	25.33	20.00	4.00	1.33
6	1.33	20.00	16.00	3.33	0.67

表 4 酸化水不同处理对泰鲜甜 1 号种子出芽和胚根生长的影响

Table 4 Effects of AEW treatment on seed germination and radicle growth of Taixiantian No. 1

组别 Group	时间 Time/h	出芽率 Germination rate/%	芽长 Shoot length/cm	主胚根长度 Radicle length/cm	胚根数 No of primary root
未接种 Without inoculation	4	71.33±5.03 Aa	3.65±0.64 Aa	9.71±0.63 Aa	5.27±0.24 Aa
	6	73.33±7.02 Aa	3.69±0.23 Aa	9.85±0.42 Aa	4.92±0.21 ABCab
	对照 Control	60.00 ±4.00 ABCbc	3.38±0.14 ABab	9.12±0.32 ABa	4.76±0.14 ABCbc
真菌接种 Fungus inoculation	4	66.67±4.16 ABab	2.84±0.16 Bbc	8.15±0.35 BCb	4.63±0.15 BCbc
	6	68.37±5.03 ABab	3.22±0.06 ABabc	9.45±0.37 Aa	5.16±0.15 ABa
	对照 Control	51.33±7.02 Cc	2.68±0.52 Bc	7.56±0.68 CDbc	4.56±0.12 Cbc
细菌接种 Bacterium inoculation	4	54.67±3.06 BCc	1.52±0.08 CDd	6.13±0.73 Ed	4.44±0.25 Cc
	6	66.67±7.57 ABab	1.69±0.23 Cd	6.77±0.41 DEcd	4.69±0.27 BCbc
	对照 Control	31.33±5.03 Dd	0.84±0.11 De	4.48±0.07 Fe	3.93±0.32 Dd

表 5 酸化水不同处理对泰鲜甜 2 号种子出芽和胚根生长的影响
Table 5 Effects of AEOW treatment on seed germination and radicle growth of Taixiantian No. 2

组别 Group	时间 Time/h	出芽率 Germination rate/%	芽长 Shoot length/cm	主胚根长度 Radicle length/cm	胚根数 No of primary root
未接种 Without inoculation	4	66.67±7.02 Aab	2.96±0.06 Aab	8.08±0.27 Aa	4.54±0.19 Aa
	6	67.33±3.06 Aa	3.00±0.78 Aab	7.84±0.22 Aab	4.25±0.04 ABabc
	对照 Control	58.67±3.06 ABabc	2.47±0.19 Aab	7.42±0.14 ABabc	4.18±0.27 ABabcd
真菌接种 Fungus inoculation	4	54.67±5.03 ABc	3.06±0.11 Aa	7.33±0.25 ABbcd	4.07±0.32 ABbcd
	6	58.00±6.00 ABabc	2.76±0.20 Aab	7.49±0.52 ABabc	3.97±0.14 ABcd
	对照 Control	51.33±4.16 Bc	2.43±0.44 Ab	7.09±0.52 ABcd	3.77±0.31 Bd
细菌接种 Bacterium inoculation	4	56.67±7.02 ABbc	1.45±0.07 Bc	6.63±0.58 Bd	4.42±0.25 Aab
	6	61.33±7.57 ABabc	1.43±0.03 Bc	6.78±0.26 Bcd	4.45±0.25 Aab
	对照 Control	32.67±4.16 Cd	1.12±0.10 Bc	5.08±0.43 Ce	4.09±0.18 ABbcd

0.60 条，而泰鲜甜 2 号也分别提高了 6.67%、0.33 cm、0.40 cm 和 0.26 条。在接种病原细菌组中，泰鲜甜 1 号种子用酸化水分别处理 6 h 后，其出芽率、芽长、主胚根长度和胚根数分别为 56.67%、1.69 cm、6.78 cm 和 4.69 条，分别比其相应的对照（接种病原细菌，未用酸化水处理）提高 35.34%、0.85 cm、2.30 cm 和 0.76 条，而泰鲜甜 2 号也分别提高了 28.66%、0.30 cm、1.70 cm 和 0.36 条，在出芽率方面差异达显著性水平。表明采用酸化水处理玉米种子 4~6 h，对种子出芽和生根安全，不同程度上促进了种子萌发和生长，在酸化水对接种 2 种病菌的种子处理之间，以酸化水对提升细菌接种的种子出芽效果更好。

2.5 酸化水处理对玉米种子出苗和植株生长的影响

从表 6 可知，供试泰鲜甜 1 号和泰鲜甜 2 号其种子与酸化水按（mg/mL）125：2 比例处理 6 h 后，2 个品种出苗率分别为 56.00% 和 62.67%，已出苗植株株高分别为 6.12 cm 和 6.99 cm，地上部鲜重分别为 0.60 g 和 0.66 g，与各品种相应空白对照相比，2 个品种在出苗率、株高和地上部鲜重上与空白对照无显著性差别，但出苗率分别比对照提高了 5.33% 和 8.00%，不同程度上提高了苗的株高和地上部鲜重。表明酸化水处理对玉米种子出苗和植株生长安全，能明显提高种子出苗率，促进苗的生长。

表 6 酸化水处理对玉米出苗和植株生长的影响
Table 6 Effects of AEOW on seedling emergence and plant growth of maize

品种 Varieties	组别 Group	出苗率 Seedling emergence rate/%	株高 Seedling height/cm	地上部鲜重 Fresh weight/g
泰鲜甜1号 Taixiantian NO.1	酸化水 AEOW	56.00±2.00 Aa	6.12±0.57 Aa	0.60±0.01 Aa
	对照 Control	50.67±3.06 Aa	6.02±0.69 Aa	0.56±0.04 Aa
泰鲜甜2号 Taixiantian NO.2	酸化水 AEOW	62.67±5.03 Aa	6.99±0.95 Aa	0.66±0.12 Aa
	对照 Control	54.67±1.15 Aa	6.51±0.77 Aa	0.61±0.03 Aa

3 讨论与结论

酸化水是一种具有高氧化还原电位（ORP），低 pH 值，含低浓度活性氯、活性氧和次氯酸的水，属非化学品种制剂，其独特的杀菌作用机理，能作用多种病原微生物，被认为是一种环保、安全、无残留的广谱性新型杀菌消毒剂。本研究将玉米种子表面微生物的菌悬液、玉米种子与酸化水分别按不同比例混匀后，发现酸化水处理对玉米种子表面微

生物有抑制作用，且随着酸化水用量增加及作用时间的延长，其抑菌效果越好，从菌悬液中和种子中检测出的菌量越少，种子带菌率越低。泰鲜甜 1 号、泰鲜甜 2 号种子菌悬液与酸化水按（mL/mL）1：2 比例及种子与酸化水按（mg/mL）125：2 比例混合 6 h 的处理便可达较好的抑菌效果。

高新昊等^[26]的研究表明采用适宜有效氯浓度电解水浸种可提高种子胚芽生长速率，促进黄瓜幼苗生长与干物质积累，提高黄瓜幼苗的质量。Liu 等^[27]

采用酸化水浸种可促进糙米芽生长,提高其 γ -氨基丁酸含量。赵峰等^[28]研究发现,酸性氧化电解水浸泡对水稻种子发芽及生长有促进作用,与清水对照相比,能增加根长、芽长和苗鲜重,而用咪鲜胺浸泡水稻种子对苗期芽的生长有抑制作用。本研究结果表明,采用酸化水浸泡处理玉米种子 4 h 和 6 h,对种子出芽和生根安全,与清水对照相比,能明显提高种子出芽率、促进芽和胚根生长,用酸化水浸泡处理玉米种子 6 h,对种子出苗安全,能明显提高种子出苗率,促进苗的生长,增加鲜重。

由于不清楚本研究供试玉米种子携带的微生物是否为致病菌,同时为验证种子携带病原菌及酸化水对种子出芽现状的影响,本研究采用分离自玉米鞘腐病的病原真菌(拟轮枝孢菌)和玉米茎腐病的病原细菌(假单胞杆菌)分别进行泰鲜甜 1 号和泰鲜甜 2 号玉米种子人工接菌处理,试验结果表明,预先接种的 2 种病原菌均能影响种子出芽和胚根的生长,而采用酸化水浸泡处理病种 4 h 和 6 h,能明显改善种子的出芽性状,提高出芽率,促进胚根生长,以酸化水处理种子 6 h 的效果优于 4 h。表明酸化水处理可能通过抑制玉米种子外源病原菌的生长,从而减少病原菌对种子出芽和生根的负面影响。基于上述研究结果表明,采用酸化水浸泡处理玉米种子 6 h 进行种子表面微生物或病原菌的消毒处理是可行的,但在增加作用时间条件下,酸化水对种子出芽、出苗的影响是否安全,以及酸化水浸种处理是否能通过影响种子的生理生化特性,促进出苗和提高抗逆性,有待进一步研究。

黄思良等^[29]从玉米穗腐病病粒上分离出多种致病性镰孢菌,而本研究也证实,玉米种子表面携带有大量微生物,包括细菌、真菌等,其中镰孢菌在真菌中检出频率最高,因此,做好种子的杀菌处理是预防后期病害发生的重要环节。用酸化水处理种子用量少,酸化水的使用可减轻因种子表面病原菌原因导致的烂种,对促进种子出芽和出苗生长,降低种传病害发生的初侵染源具有重要作用。但酸化水不同条件下贮存,对其理化性能和杀菌效果均有影响,如 54℃ 存放 14 d 条件下会出现氧化还原电位下降、pH 值升高^[30],在常温、封闭、不避光的保存条件下,有效期为 7-10 d^[31]。因此,应在适宜条件下保存酸化水,有条件时最好是现制现用。另从酸化水处理后的种子携带细菌、真菌出现频率结果分析,酸化水处理对种子携带的细菌抑制效果明显优于真菌,在酸化水对预先接种两类病原菌的种子处理之间,也以酸化水对提升接种细菌种子的出芽性

状更好,推测酸化水对由病原细菌引起的种传病害可能具有更好的应用前景。本研究结果可为其他作物种子病原菌的杀菌处理提供参考,同时为作物生产过程中预防健田病害发生的风险性、阻隔种传病害途径发挥重要作用,也为化学农药减施增效途径提供参考。

参考文献:

- [1] 王晓鸣,石洁,晋齐鸣.玉米病虫害田间手册:病虫害鉴别与抗性鉴定[M].北京:中国农业科学技术出版社,2010:42-81.
- [2] 刘昊,杨雨晴,邵一飞,等.番茄种子消毒方法探究[J].山东农业大学学报(自然科学版),2019(3):393-398.
LIU H, YANG Y Q, SHAO Y F, et al. Exploration for the disinfectant method of tomato seed [J]. *Journal of Shandong Agricultural University (Natural Science Edition)*, 2019 (3): 393-398. (in Chinese)
- [3] 王爽,杨礼哲,罗丰,等.不同药剂处理对西甜瓜细菌性果斑病的抑菌效果初探[J].热带农业科学,2011(11):45-48.
WANG S, YANG L Z, LUO F, et al. Inhibitory effect of different bactericide treatments on bacterial fruit blight [J]. *Chinese Journal of Tropical Agriculture*, 2011 (11): 45-48. (in Chinese)
- [4] 吴国平,毛忠良,姚悦梅,等.福尔马林浸种对葫芦种传病害和种子活力的影响[J].江西农业学报,2009(8):101-102,108.
WU G P, MAO Z L, YAO Y M, et al. Effects of formalin seed-soaking treatment on seed-borne diseases and seed vigor of gourd [J]. *Acta Agriculturae Jiangxi*, 2009 (8): 101-102,108. (in Chinese)
- [5] 王雅玲,孙丽娜,杨代斌,等.戊唑醇和苯醚甲环唑种子处理对玉米幼苗生长的影响比较[J].作物杂志,2009(4):60-63.
WANG Y L, SUN L N, YANG D B, et al. Influence of seed-treatment with tebuconazole and difenoconazole on maize seedling growth [J]. *Crops*, 2009 (4): 60-63. (in Chinese)
- [6] 赵汉臣,张雪梅.酸性氧化电位水的应用[J].中国药学杂志,2004,39(8):632-634.
ZHAO H C, ZHANG X M. Application of acidic oxidizing potential water [J]. *Chinese Pharmaceutical Journal*, 2004, 39 (8): 632-634. (in Chinese)
- [7] 国家市场监督管理总局,国家标准化管理委员会.酸性电解水生成器卫生要求:GB 28234—2020[S].北京:中国标准出版社,2020.
- [8] 林文明,李碧红,陈颖,等.酸性氧化电位水在食品工业中的应用[J].北京农业(下旬刊),2015(4):19-20.
LIN W M, LI B H, CHEN Y, et al. Application of acidic oxidizing water in food industry [J]. *Beijing agriculture*, 2015 (4): 19-20. (in Chinese)
- [9] 孙薇,任清明,李东力.酸性氧化电位水杀菌机理及应用研究进展[J].中国消毒学杂志,2004,21(4):371-373.
SUN W, REN Q M, LI D L. Research progress on bactericidal mechanism and application of acidic oxidizing potential water [J]. *Chinese Journal of Disinfection*, 2004, 21 (4): 371-373. (in Chinese)

- [10] SAKASHITA M, IWASAWA A, NAKAMURA Y. Antimicrobial effects and efficacy on habitually hand-washing of strong acidic electrolyzed water: A comparative study of alcoholic antiseptics and soap and tap water [J]. *Kansenshogaku Zasshi*, 2002, 76 (5): 373–377.
- [11] 丁敬美, 李武平, 钱皎月, 等. 酸性氧化电位水对铜绿假单胞菌感染的深Ⅱ度烧伤创面的效果 [J]. 中华医院感染学杂志, 2014, 24 (20): 5110–5112.
- DING J M, LI W P, QIAN J Y, et al. Effect of electrolyzed oxidizing water on deep second degree burn wounds infected with *Pseudomonas aeruginosa* [J]. *Chinese Journal of Nosocomiology*, 2014, 24 (20): 5110–5112. (in Chinese)
- [12] 李淑娴, 陈素芝, 张洪钊. 负压吸引牙刷刷牙法结合酸性氧化电位水口腔护理对呼吸机相关性肺炎发生的影响 [J]. 广东医学, 2015 (6): 918–920.
- LI S X, CHEN S Z, ZHANG Q C. Effect of negative pressure suction toothbrush brush combined with acidic oxidizing potential water oral care on occurrence of ventilator-associated pneumonia [J]. *Guangdong Medical Journal*, 2015 (6): 918–920. (in Chinese)
- [13] 曾新平, 林黎, 张经纬, 等. 酸性氧化电位水对金黄色葡萄球菌的杀灭效果研究 [J]. 中国消毒学杂志, 2008, 25 (4): 355–358.
- ZENG X P, LIN L, ZHANG J W, et al. The study on efficacy of eow in killing *Staphylococcus aureus* [J]. *Chinese Journal of Disinfection*, 2008, 25 (4): 355–358. (in Chinese)
- [14] 康维民, 肖念新, 伊藤和彦. 强酸性电解水在农业生产上的应用前景 [J]. 河北农业技术师范学院学报, 1997 (3): 60–63.
- KANG W M, XIAO N X, YITAO K Z. Applied prospects of electrolytic water for agricultural production(summary) [J]. *Journal of Hebei Agricultural Technology Normal University*, 1997 (3): 60–63. (in Chinese)
- [15] 李华贞, 郑淑方, 宋曙辉, 等. 酸性电解水对果蔬杀菌及保鲜效果的研究 [J]. 现代食品科技, 2011 (3): 361–365.
- LI H Z, ZHENG S F, SONG S H, et al. Study on sterilization and preservation of fruits and vegetables using acidic electrolyzed oxidizing water [J]. *Modern Food Science and Technology*, 2011 (3): 361–365. (in Chinese)
- [16] 武龙, 肖卫华, 李里特, 等. 酸性电解水用于葡萄杀菌保鲜的试验研究 [J]. 食品科技, 2004 (9): 81–83.
- WU L, XIAO W H, LI L T, et al. The preservation of fresh grape by the acidic electrolyzed water [J]. *Food Science and Technology*, 2004 (9): 81–83. (in Chinese)
- [17] 张华, 董月强, 袁博, 等. 酸性氧化电位水对鲜切莲藕品质的影响 [J]. 食品研究与开发, 2015 (9): 84–87.
- ZHANG H, DONG Y Q, YUAN B, et al. Effect of acid oxidation-potential water on fresh-cut *Lotus* root quality [J]. *Food Research and Development*, 2015 (9): 84–87. (in Chinese)
- [18] 孙雄军, 陈红, 徐爱仙, 等. 酸性氧化电解水防治黄瓜霜霉病效果试验 [J]. 长江蔬菜, 2018 (16): 69–71.
- SUN X J, CHEN H, XU A X, et al. Efficacy test of acid oxidation electrolytic water on controlling cucumber downy mildew [J]. *Journal of Changjiang Vegetables*, 2018 (16): 69–71. (in Chinese)
- [19] 夏国海, 崔福生. 电解水在农产品开发和保鲜及土壤改良上的应用 [J]. 上海蔬菜, 2007 (6): 92.
- XIA G H, CUI F S. Application of electrolytic water in agricultural products development and preservation and soil improvement [J]. *Shanghai Vegetables*, 2007 (6): 92. (in Chinese)
- [20] 杨世武, 赵峰, 蔡旭红, 等. 酸性氧化电解水防治小麦赤霉病田间试验 [J]. 湖北植保, 2018 (6): 15–16, 47.
- YANG S W, ZHAO F, CAI X H, et al. Field experiment on control of wheat fusarium head blight with acid oxidized electrolytic water [J]. *Hubei Plant Protection*, 2018 (6): 15–16, 47. (in Chinese)
- [21] FUJIWARA K, FUJII T, PARK J S. Successive spraying efficacy of acidic electrolyzed oxidizing water and alkalic electrolyzed reducing water on controlling powdery mildew infection and suppressing visible physiological disorder on cucumber leaves [J]. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 2011, 52 (4): 387–392.
- [22] 肖卫华, 李里特, 王慧敏, 等. 电生功能水防治黄瓜白粉病试验初报 [J]. 植物保护, 2003 (2): 50–51.
- XIAO W H, LI L T, WANG H M, et al. Tests of functional water produced by electrolytic action against powdery mildew disease on cucumber [J]. *Plant Protection*, 2003 (2): 50–51. (in Chinese)
- [23] 魏肖鹏, 董宇, 孙娟娟, 等. 电解水对黄瓜生长、果实品质及黄瓜霜霉病和白粉病防效的影响 [J]. 植物保护学报, 2016, 43 (5): 819–827.
- WEI X P, DONG Y, SUN J J, et al. Effects of electrolyzed water on the growth and quality of cucumber and its control efficiency against cucumber downy mildew and powdery mildew [J]. *Journal of Plant Protection*, 2016, 43 (5): 819–827. (in Chinese)
- [24] 胡宇舟, 黄怡兵, 王娟. 酸性氧化电解水防治水稻稻曲病田间试验 [J]. 湖北植保, 2018 (4): 14–15, 43.
- HU Y Z, HUANG Y B, WANG J. Field experiment of acid oxidized electrolytic water on control of rice smut disease [J]. *Hubei Plant Protection*, 2018 (4): 14–15, 43. (in Chinese)
- [25] 田艳丽, 胥婧, 赵玉强, 等. 利用PCR技术专化性检测瓜类细菌性果斑病菌 [J]. 江苏农业学报, 2010 (3): 512–516.
- TIAN Y L, XU J, ZHAO Y Q, et al. Specific detection of *Acidovorax avenae* subsp. *citrulli* by PCR [J]. *Jiangsu Journal of Agricultural Sciences*, 2010 (3): 512–516. (in Chinese)
- [26] 高新昊, 张志斌, 郭世荣, 等. 强酸性电解水浸种对黄瓜种子发芽与幼苗生长影响的研究 [J]. 中国农学通报, 2004 (6): 227–228.
- GAO X H, ZHANG Z B, GUO S R, et al. Effect of soaking cucumber seed with different concentration acidic electrolyzed water on seed germination and seedling quality [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2004 (6): 227–228. (in Chinese)
- [27] LIU R, HE X L, SHI J Q, et al. The effect of electrolyzed water on decontamination, germination and γ -aminobutyric acid accumulation of brown rice [J]. *Food Control*, 2013, 33 (1): 1–5.
- [28] 赵峰, 杨世武, 蔡旭红, 等. 酸性氧化电解水水稻浸种试验 [J]. 农业科技通讯, 2019 (3): 57–59.
- ZHAO F, YANG S W, CAI X H, et al. Soaking rice seed in acid oxidation electrolytic water [J]. *Agricultural Technology Newsletter*, 2019 (3): 57–59. (in Chinese)

- [29] 黄思良, 卢维宏, 陶爱丽, 等. 南阳市玉米穗腐病致病镰刀菌种群结构分析 [J]. 南阳师范学院学报, 2012 (3): 54-57.
- HUANG S L, LU W H, TAO A L, et al. Structural analysis of *Fusarium* species causing maize ear rot in Nanyang City [J]. *Journal of Nanyang Normal University*, 2012 (3): 54-57. (in Chinese)
- [30] 丁培, 李新武, 袁治勋. 不同存放条件对酸性氧化电位水理化性能和杀菌效果的影响 [J]. 中国消毒学杂志, 2003, 20 (3): 179-182.
- DING P, LI X W, YUAN Q K. Influence of different storing conditions on physicochemical properties and germicidal efficacy of electrolyzed oxidizing water [J]. *Chinese Journal of Disinfection*, 2003, 20 (3): 179-182. (in Chinese)
- [31] 陈为民, 徐显干, 肖贤明. 酸性氧化电位水保存后的特性及消毒效果 [J]. 环境与健康杂志, 2007, 24 (5): 308-309.
- CHEN W M, XU X G, XIAO X M. Storage characteristics and disinfection effect of electrolyzed-oxidizing water [J]. *Journal of Environment and Health*, 2007, 24 (5): 308-309. (in Chinese)
- (责任编辑: 林海清)