

微酸性电解水对绿豆芽内源植物激素含量及基本营养成分的影响

刘瑞¹, 张冬晨¹, 韭泽悟², 辰巳英三², 刘海杰¹

(1. 中国农业大学食品科学与营养工程学院, 北京 100083) (2. 日本国际农林水产研究中心, 筑波 305-8686)

摘要: 本研究用微酸性电解水生产绿豆芽, 通过酶联免疫法测定绿豆芽生长过程中植物激素含量的动态变化, 探究微酸性电解水促进绿豆芽生长的原因, 并对绿豆芽的基本营养成分进行了评估。试验结果表明, 微酸性电解水处理组绿豆芽的脱落酸和茉莉酸甲酯含量在发芽的大部分时间要低于对照组, 而处理组的生长素与脱落酸的比值则在大部分时间保持较高水平, 在发芽第3 d, 微酸性电解水 10 mg/L 处理组的该比值要高于对照组 54.37%, 在发芽第4 d, 微酸性电解水 20 和 30 mg/L 处理组的该比值要分别高于对照组 57.45% 和 28.72%。这都与微酸性电解水可以促进绿豆芽生长的实际情况相关。有效氯浓度稍高的微酸性电解水利于绿豆芽总抗坏血酸含量的升高, 微酸性电解水 20 和 30 mg/L 处理组绿豆芽抗坏血酸含量分别高于对照组 5.30% 和 9.33%。处理组还原糖含量有所降低, 而总糖和粗蛋白含量则与对照组间无显著差异。

关键词: 微酸性电解水; 绿豆芽; 激素; 营养成分; 生长

文章编号: 1673-9078(2014)4-112-117

Effect of Slightly Acidic Electrolyzed Water on the Phytohormones Content and Nutrients of Mungbean Sprouts

LIU Rui¹, ZHANG Dong-chen¹, NIRASAWA Satoru², TATSUMI Eizo², LIU Hai-jie¹

(1. College of Food Science and Nutritional Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

(2. Japan International Research Center for Agricultural Sciences, Tsukuba 305-8686, Japan)

Abstract: Slightly acidic electrolyzed water (SAEW) was used to produce mungbean sprouts in the research. In order to observe promoted effect of SAEW in mungbean sprouts growth, phytohormones content of mungbean sprouts during germination was investigated by using ELISA, and the nutrients contents were also evaluated. The results showed that the contents of abscisic acid and jasmonic acid methyl ester of mungbean sprouts treated by SAEW maintained at lower level than tap water control group, while the ratio of indole acetic acid to abscisic acid kept higher level mostly. On the 3rd germination day, the ratio of 10 mg/L SAEW treatment group was 54.37% higher than control. On the 4th germination day, the Vc contents of samples treated by 20 and 30 mg/L SAEW were 57.45% and 28.72%, respectively, higher than the control. All of those contributed to the growth of sprouts. SAEW with higher available chlorine concentration contributed to the increase of total ascorbic acid content. When sprouts treated by 20 and 30 mg/L SAEW, total ascorbic acid content was increased by 5.30% and 9.33% respectively. The reducing sugar content of mungbean sprouts treated by SAEW was lower than control, while total sugar and crude protein contents showed no significant difference.

Key words: slightly acidic electrolyzed water; mungbean sprouts; hormones; growth; nutrients

绿豆芽是深受人们喜爱的蔬菜之一, 其质地清脆爽口, 营养成分丰富, 而且绿豆芽的生产工艺简单,

收稿日期: 2013-12-09

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (31201437); “十二五” 国家科技支撑计划项目 (2012BAD29B04)

作者简介: 刘瑞 (1987-), 女, 在读博士研究生, 研究方向: 电生功能水的应用

通讯作者: 刘海杰 (1973-), 女, 博士, 副教授, 研究方向: 食品加工新技术

不受季节限制, 所以越来越多的被人们所消费。但随之而来的一些问题也日益引起人们的关注。2011年5月起, 在德国北部爆发的毒豆芽事件一时间危及到许多人的生命健康, 导致豆芽变毒豆芽的元凶就是 *E.coli* O104:H4^[1], 该菌可以产生志贺氏毒素, 并对抗生素具有抗性。豆芽的培育过程是一个温度、湿度都适宜微生物大量繁殖的过程, 所以一旦豆子表面沾有微生物, 则在豆子萌发及豆芽的生长过程中, 微生物都会成倍的增长, 从而最终导致食品安全问题。芽菜生产企业、

监管机构和研究单位需要进行合作去改进豆芽的食用安全性,例如实施良好操作规范(GMP),规范安全生产,用消毒剂处理豆种以减少豆芽的微生物数等^[2]。

电生功能水,又称电解水,是指电解质溶液在电场中经过电解而获得的一类具有特殊功能的水。若在隔膜电解槽中电解,可同时获得强酸性电解水(pH 2.5~3,氧化还原电位 1100~1200 mV,有效氯浓度 20~60 mg/L)和强碱性电解水(pH 11~12,氧化还原电位-800 mV左右);若在无隔膜电解槽中电解,可获得微酸性电解水(简称 SAEW, pH 5~6.5,氧化还原电位 800~900 mV,有效氯浓度 10~30 mg/L)。电生功能水因其杀菌高效、绿色环保、制取方便和成本低廉等优点而被广泛应用于食品加工、植病防治和医疗卫生等领域^[3]。

通过前期将电生功能水应用于绿豆芽生产的实验结果表明^[4-5],电生功能水在有效降低绿豆芽表面的微生物数的同时,可以促进绿豆芽的生长。本研究旨在通过测定内源植物激素含量,考察电生功能水促进绿豆芽生长的原因,同时考虑到用电解水培育绿豆芽,是否会对绿豆芽的基本营养成分产生影响,所以本研究也对绿豆芽的总抗坏血酸、粗蛋白、总糖和还原糖等成分含量进行了测定。

1 材料与方法

1.1 原料

绿豆,购于当地农贸市场;实验所用标准品均购自 Sigma;实验用水为去离子水。

1.2 试验方法

1.2.1 电解水的制备

用实验室自制电生功能水产生装置生产微酸性电解水,分别稀释为有效氯浓度为 10、20 和 30 mg/L 左右,试验用微酸性电解水和自来水的 pH 值、氧化还原电位(ORP)和有效氯浓度(ACC)等理化指标见表 1。

1.2.2 绿豆芽的生产

先将 20 g 绿豆用 60 mL 对应处理组的水浸泡 8 h,再转入发芽盒中,每日淋浇 3 次,每次淋浇 100 mL 对应处理组的水,直至发芽第五天实验结束。浸泡和发芽过程均在恒温恒湿培养箱中进行(温度 25 ℃,湿度 85%)。

1.2.3 植物激素含量测定

参照阮英^[6]的方法,用酶联免疫法测定各处理组

绿豆在发芽第 1 至 5 d 的生长素、脱落酸、茉莉酸甲酯等植物激素的含量。

1.2.4 绿豆芽粗蛋白含量测定

参照 GB/T 5511-2008,测定各处理组发芽第 5 d 的绿豆芽粗蛋白含量。

1.2.5 绿豆芽总抗坏血酸含量测定

参照 GB/T 12392-90,测定各处理组发芽第 5 d 的绿豆芽总抗坏血酸含量。

1.2.6 绿豆芽还原糖和总糖含量测定

参照已有方法并稍作修改^[7],测定各处理组发芽第 5 天的绿豆芽还原糖和总糖含量。

1.3 数据分析

对于每一项指标的测定,均有独立的重复试验,最终数据汇总在一起求平均值。利用一维方差分析(ANOVA)比较处理组间的差异显著性(SPSS 16.0),显著性差异水平 $P < 0.05$ 。

2 结果与讨论

2.1 各处理组对绿豆芽内源生长素含量的影响

表 1 各处理组用水指标

Table 1 The indexes of slightly acidic electrolyzed water and tap water control

	pH	ORP/mV	ACC/(mg/L)
SAEW 10	5.60	871.50	10.10
SAEW 20	5.50	893.00	21.10
SAEW 30	5.50	896.00	30.20
TW	7.51	427.00	ND

SAEW: slightly acidic electrolyzed water; TW: tap water; ORP: oxidation reduction potential; ACC: available chlorine concentration; ND: not detected.

生长素(IAA)的生理作用十分广泛,包括对细胞分裂、伸长和分化,营养器官和生殖器官的生长、成熟和衰老的调控等方面。生长素最明显的生理效应就是促进细胞的伸长生长。各处理组对绿豆芽生长素含量的影响如图 1 所示。从发芽第 1 d 至第 2 d,各处理组的生长素含量有一个较大的增长,并在发芽第 2 天达到一个极大值。自来水处理组的生长素含量在第 2 至 5 d 缓慢下降。微酸性电解水 10 mg/L 处理组生长素含量在第 2 至 4 d 下降后,第 5 d 又升高。微酸性电解水 20 mg/L 与 30 mg/L 处理组的生长素含量在发芽

第2至5 d 动态平衡。

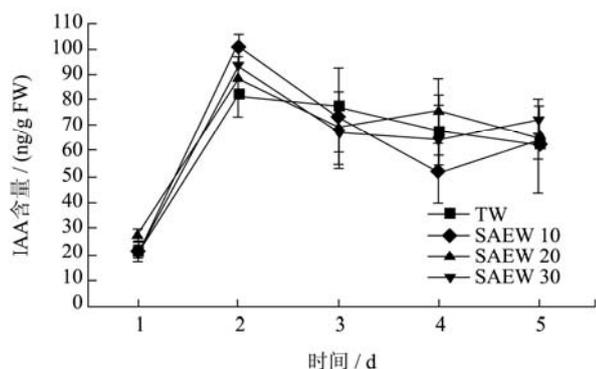


图1 各处理组对绿豆芽内生生长素含量的影响

Fig.1 The indole acetic acid content of mungbean sprouts treated by slightly acidic electrolyzed water; IAA: Indole acetic acid; TW: tap water; SAEW: slightly acidic electrolyzed water

2.2 各处理组对绿豆芽脱落酸含量的影响

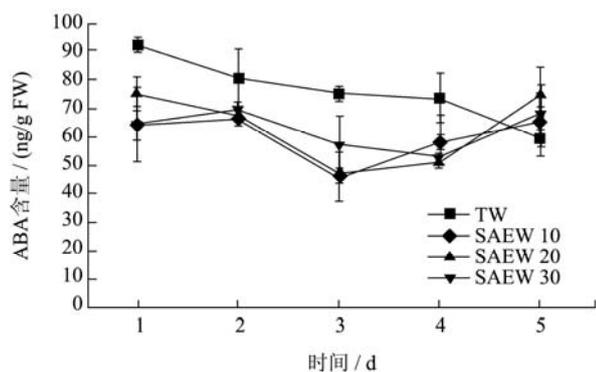


图2 各处理组对绿豆芽脱落酸含量的影响

Fig.2 The abscisic acid content of mungbean sprouts treated by slightly acidic electrolyzed water ABA-abscisic acid; TW-tap water; SAEW-slightly acidic electrolyzed water

脱落酸 (Abscisic acid, ABA) 促进多种木本植物和种子休眠。ABA 还能抑制种子萌发, 使种子保持在休眠状态。ABA 能抑制整株植物或离体器官的生长, 也能抑制种子的萌发。ABA 对细胞的分裂和伸长起抑制作用, 抑制胚芽鞘、嫩枝、根和胚轴等器官的伸长生长。

各处理组对绿豆芽脱落酸含量的影响如图 2 所示, 自来水处理组绿豆芽的脱落酸含量在发芽期间一直处于降低的状态, 微酸性电解水 10 mg/L 与 20 mg/L 处理组脱落酸含量在发芽 1 至 3 d 降低, 而后又增加, 微酸性电解水 30 mg/L 处理组脱落酸含量在发芽第 4 d 降低到一个极值之后, 第 5 d 又增加。在发芽 1 至 4 d, 自来水处理组的脱落酸含量高于微酸性电解水处理组; 而在第 5 d 情况相反。

在观测的发芽第 1 d 至第 4 d, 微酸性电解水处理组绿豆芽的脱落酸含量低于自来水对照组。Wang M, et

al^[8]报道了破除休眠的化学物质对于大麦中 ABA 含量的影响。并将所研究的不同化学物质分为两大类: 可引起内源 ABA 含量下降的破除休眠物质 (第 I 类) 包括赤霉素、乙醇、H₂O₂、硝酸盐和水杨酸等。不影响 ABA 含量但可减弱 ABA 效应的物质 (第 II 类) 有壳梭孢素、H₂SO₄、叠氮钠、己酸等。第 I 类物质可以影响 ABA 合成或降解的酶的活性。有研究称^[9]O₂ 可以加速 ABA 的降解。H₂O₂ 作为活性氧的来源, 降低 ABA 含量原因在于其可以促进 O₂ 的产生。微酸性电解水中含有多种活性氧成分, 例如 H₂O₂ 和 ·OH 等^[10]。所以微酸性电解水处理组绿豆芽 ABA 含量的降低也可归因为促进了 O₂ 的产生, 从而加速了 ABA 的降解。

2.3 各处理组对绿豆芽茉莉酸甲酯含量的影响

茉莉酸类 (jasmonates, JAs) 是广泛存在于植物体内的一类化合物。茉莉酸甲酯 (Jasmonic acid methyl ester, JA-Me) 是最重要的代表之一。JAs 可引起多种形态或生理效应, 这些效应大多与 ABA 的效应相似, 如抑制生长、抑制种子萌发、促进器官衰老和脱落等。

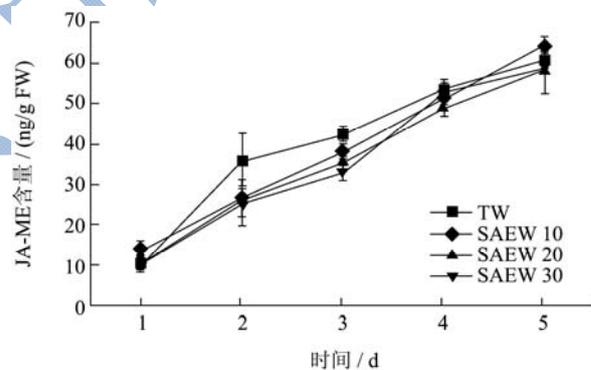


图3 各处理组对绿豆芽茉莉酸甲酯含量的影响

Fig.3 The jasmonic acid methyl ester content of mungbean sprouts treated by slightly acidic electrolyzed water; JA-ME: jasmonic acid methyl ester; TW: tap water; SAEW: slightly acidic electrolyzed water

4 个处理组的茉莉酸甲酯含量变化如图 3 所示。随着发芽时间的延长, 各处理组 JA-Me 含量都呈现出增长的趋势。尤其是在发芽第 2 至 4 d, 自来水处理组绿豆芽的茉莉酸甲酯含量要高于微酸性电解水处理组。

2.4 各处理组绿豆芽生长素/脱落酸比值的变化

各处理组绿豆芽萌发过程中生长素与脱落酸比值的变化如图4所示。生长素比脱落酸的比值在发芽第1d至第2d有较大增长,第2d之后,自来水处理组和微酸性电解水30mg/L处理组的该比值维持稳定,微酸性电解水10mg/L与20mg/L处理组的该比值分别在发芽第3d与第4d达到极大值后下降。总体而言,在发芽前3d,微酸性电解水处理组的生长素与脱落酸的比值要高于自来水处理组。而在发芽第4d,微酸性电解水20mg/L与30mg/L处理组的该比值仍高出自来水处理组。在发芽第3d,SAEW10mg/L处理组绿豆芽生长素与脱落酸比值要高于对照组54.37%。在发芽第4d,SAEW20和30mg/L处理组绿豆芽生长素与脱落酸的比值要分别高于对照组57.45%和28.72%。到了发芽第5d,各处理组的该比值则较为接近。

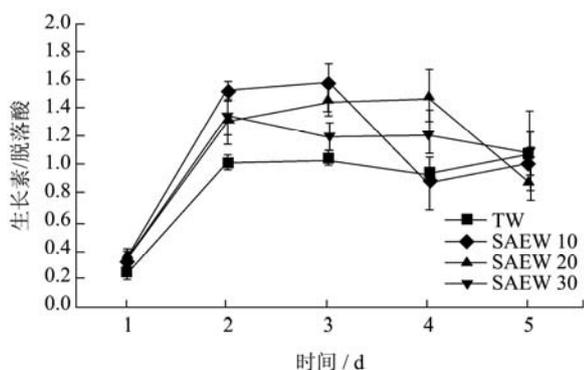


图4 各处理组绿豆芽萌发过程中生长素与脱落酸比值的变化

Fig.4 The ratio of indole acetic acid and abscisic acid of mungbean sprouts during germination tread by slightly acidic electrolyzed water; TW: tap water; SAEW: slightly acidic electrolyzed water

可以看出生长素与脱落酸的比值对于绿豆芽的生长具有重要的影响。与实际的绿豆芽生长情况具有较好的吻合性。至少在发芽前期,较高的生长素与脱落酸的比值已经为绿豆芽较快生长奠定了基础。到了发芽后期,微酸性电解水处理组绿豆芽脱落酸含量的升高使得微酸性电解水处理组的该比值有了不同程度的降低,导致在发芽第4d,SAEW10处理组的该比值稍低于对照组,到了发芽第5d,SAEW10和SAEW20处理组的该比值稍低于对照组,但这都没有改变微酸性电解水对于绿豆芽生长的促进效果。尤其是SAEW20和SAEW30处理组,其生长素/脱落酸比值能够在较长时间内维持在较高水平。使得微酸性电解水处理组的绿豆芽生长较快。

2.5 各处理组绿豆芽的粗蛋白含量

各处理组绿豆芽的粗蛋白含量测定结果如图5所示。可以看出到了发芽第5d,自来水处理组绿豆芽粗

蛋白含量为2.75%,微酸性电解水10mg/L和30mg/L处理组的绿豆芽粗蛋白含量比自来水对照组分别增高了9.82%和4%,而微酸性电解水20mg/L处理组的绿豆芽粗蛋白含量比自来水对照组降低3.64%。但各处理组绿豆芽的粗蛋白含量的差异并不显著($p < 0.05$)。所以电解水处理对绿豆芽的粗蛋白含量没有太大影响。

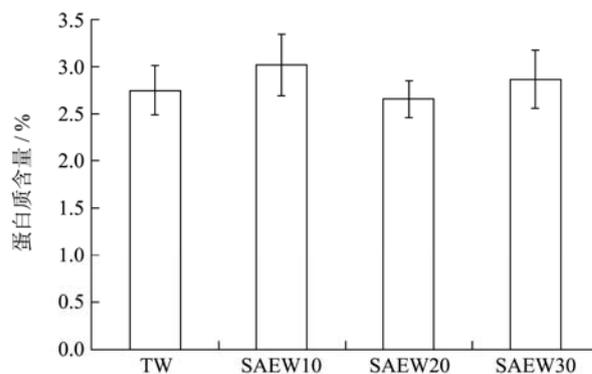


图5 各处理绿豆芽的粗蛋白含量

Fig.5 The crude protein content of mungbean sprouts; TW: tap water; SAEW: slightly acidic electrolyzed water

2.6 各处理组绿豆芽的总抗坏血酸含量

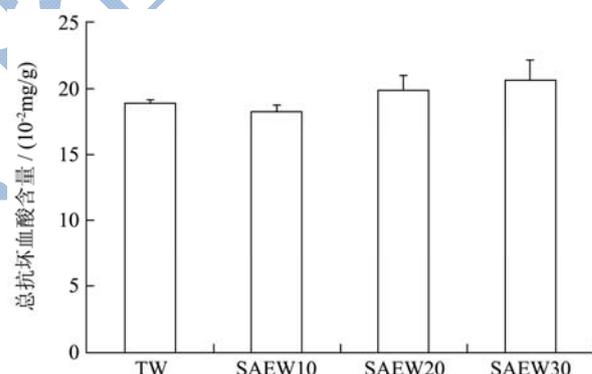


图6 各处理组绿豆芽的总抗坏血酸含量

Fig.6 The total ascorbic acid content of mungbean sprouts; TW: tap water; SAEW: slightly acidic electrolyzed water

各处理组对绿豆芽总抗坏血酸含量的影响如图6所示。由图可以看出,自来水处理组绿豆芽的总抗坏血酸含量为0.19mg/g。微酸性电解水10ppm处理组的绿豆芽总抗坏血酸含量比对照组降低3.23%,而微酸性电解水20mg/L和30mg/L处理组的绿豆芽总抗坏血酸含量比对照组升高5.30%和9.33%。可见有效氯浓度稍高的微酸性电解水利于绿豆芽中总抗坏血酸的富集。王丹等^[11]用酸性电解水清洗鲜切西兰花并贮藏,虽然在贮藏期间西兰花的抗坏血酸含量降低,但酸性电解水处理组的西兰花抗坏血酸含量要高于对照组。高新昊等^[12]酸性电解水喷施番茄植株,发现电解水可以增加番茄果实中的Vc含量,所以酸性电解水

所营造的酸性环境利于保持或提高蔬菜中的抗坏血酸含量。

2.7 各处理组绿豆芽的还原糖含量

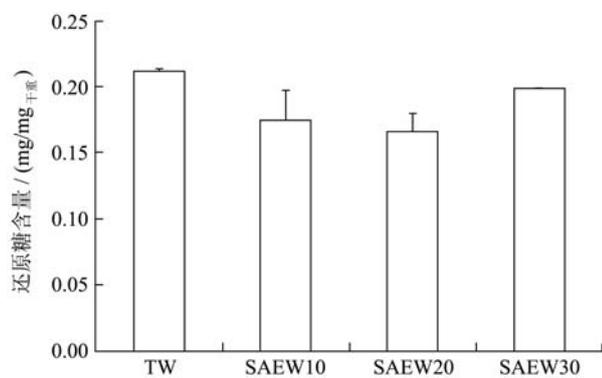


图7 各处理组绿豆芽的还原糖含量

Fig.7 The reducing sugar content of mungbean sprouts; TW: tap water; SAEW: slightly acidic electrolyzed water

各处理组绿豆芽的还原糖含量测定结果如图7所示,由图可以看出,自来水处理组的绿豆芽还原糖含量为0.21 mg/mg_{干重},而微酸性电解水10、20和30 mg/L处理组绿豆芽的还原糖含量分别比对照组降低19.05%、19.05%和0.21%。可见微酸性电解水处理组绿豆芽的还原糖含量都有不同程度的降低。曹薇等^[13]用微酸性电解水生产荞麦芽,所得到的荞麦芽还原糖含量升高。这与本研究中微酸性电解水生产绿豆芽还原糖含量降低的结果相反。

2.8 各处理组绿豆芽的总糖含量

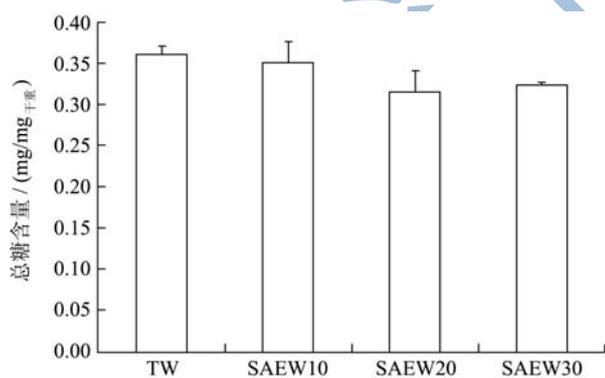


图8 各处理组绿豆芽的总糖含量

Fig.8 The total sugar content of mungbean sprouts; TW: tap water; SAEW: slightly acidic electrolyzed water

各处理组绿豆芽的总糖含量测定结果如图8所示。由图可知,自来水对照组的绿豆芽总糖含量为0.36 mg/mg_{干重},而微酸性电解水10、20和30 mg/L处理组绿豆芽的总糖含量分别比对照组降低2.78%、13.89%和11.11%。可见微酸性电解水处理组绿豆芽的总糖含量也都有不同程度的降低。

3 结论

本研究监测了微酸性电解水处理绿豆芽的生长过程中内源植物激素含量的动态变化,微酸性电解水处理组的绿豆芽脱落酸含量在发芽1至4 d都要低于自来水对照组。处理组茉莉酸甲酯含量在发芽第2至4 d也要低于对照组,而微酸性电解水处理组绿豆芽生长素与脱落酸的比值则在大部分时间保持较高水平,在发芽第3 d,微酸性电解水10 mg/L处理组的该比值要高于对照组54.37%,在发芽第4 d,微酸性电解水20和30 mg/L处理组的该比值要分别高于对照组57.45%和28.72%。这都与实际各处理组绿豆芽的生长情况相关。对于各处理组绿豆芽基本营养成分的测定结果表明,有效氯浓度稍高的微酸性电解水利于总抗坏血酸含量的增加,微酸性电解水20和30 mg/L处理组绿豆芽抗坏血酸含量分别高于对照组5.30%和9.33%。微酸性电解水处理组绿豆芽的还原糖含量有所降低,而各处理组绿豆芽的粗蛋白和总糖含量无显著差异。

参考文献

- [1] Soon J M, Seaman P, Baines R N. Escherichia coli O104:H4 outbreak from sprouted seeds [J]. International Journal of Hygiene and Environmental Health, 2013, 216(3): 346-354
- [2] Erdozain M S, Allen K J, Morley K A, et al. Failures in sprouts-related risk communication [J]. Food Control, 2013, 30(2): 649-656
- [3] Huang Y R, Hung Y C, Hsu S Y, et al. Application of electrolyzed water in the food industry [J]. Food Control, 2008, 19: 329-345
- [4] Liu R, Hao J X, Liu H J, et al. Application of electrolyzed functional water on producing mungbean sprouts [J]. Food Control, 2011, 22: 1311-1315
- [5] 刘瑞,郝建雄,刘海杰,等.电生功能水对绿豆芽生长促进效果的研究[J].食品工业科技,2011,32(3):175-177
Liu Rui, Hao Jian-xiong, Liu Hai-jie, et al. Study on electrolyzed functional water for promoting the growth of mungbean sprouts [J]. Science and Technology of Food Industry, 2011, 32(3): 175-177
- [6] 阮英.番茄种子的内源激素及活性氧的变化规律与果实成熟的关系[D].北京:中国农业大学,2005
Ruan Ying. The relationship between changes of endogenous hormones and reactive oxygen species in tomato seed and fruit ripening [D]. Beijing:China Agricultural University,2005
- [7] 周楠迪,史峰,田亚平.生物化学实验指导[M].北京:高等教育出版社,2011

- Zhou Nan-di, Shi Feng, Tian Ya-ping. Experimental Guide for Biochemistry [M]. Beijing: Higher Education Press, 2011
- [8] Wang M, Meulen R M, Visser K, et al. Effects of dormancy-breaking chemicals on ABA levels in barley grain embryos [J]. Seed Science Research, 1998, 8(2): 129-137
- [9] Neill S J, Horgan R. The principles and practice of plant hormone analysis [M]. London: Academic Press, 1987
- [10] Xiong K, Liu H J, Liu R, et al. Differences in fungicidal efficiency against *Aspergillus flavus* for neutralized and acidic electrolyzed oxidizing waters [J]. International Journal of Food Microbiology, 2010, 137: 67-75
- [11] 王丹,李雪,马越,等.不同清洗剂对鲜切西兰花贮藏期间品质的影响[J].食品与机械, <http://www.cnki.net/kcms/detail/43.1183.TS.20130922.1623.036.html>
- WANG Dan, LI Xue, MA Yue, et al. The effect of storage quality of fresh-cut broccoli after washed with different washing methods [J]. Food & Machinery, <http://www.cnki.net/kcms/detail/43.1183.TS.20130922.1623.036.html>
- [12] 高新昊,张志斌,郭世荣,等.不同浓度电解水喷施对保护地番茄产量与品质的影响[J].园艺园林科学, 2005, 21(4): 236-237
- GAO Xin-hao, ZHANG Zhi-bin, GUO Shi-rong, et al. Effect of electrolyzed water sprays with different concentrations on tomato yields and quality in protected field [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2005, 21(4): 236-237
- [13] 曹薇,张春玲,李保明.喷洒微酸性电解水对荞麦芽菜生长的影响[J].农业工程学报,2012,28(9):159-164
- CAO Wei, ZHANG Chun-ling, LI Bao-ming. Effect of spraying subacidic electrolyzed water on buckwheat sprouts growth [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2012, 28(9): 159-164