

# 电解水在黑小麦发芽中的应用研究

刘瑞<sup>1</sup>, 于章龙<sup>2</sup>, 宋昱<sup>2</sup>, 景睿<sup>1</sup>

(1. 运城学院生命科学系, 山西运城 044000) (2. 山西省农业科学院棉花研究所, 山西运城 044000)

**摘要:** 本研究用电解水生产黑小麦芽, 探究电解水对黑小麦发芽及生长的影响, 并考察了电解水处理对黑小麦芽基本营养成分的影响, 以期用电解水用于黑小麦的发芽提供科学依据。试验结果表明, 电解水均可以促进黑小麦种子的萌发, 其中 pH 值为 4.55, 有效氯浓度 20.14 mg/L 的酸性电解水处理组黑小麦发芽率比自来水对照组提高 15.29%。但电解水处理组会不同程度的抑制黑小麦芽胚轴和胚根的生长, 与自来水 pH 值相近的酸性或碱性电解水的抑制作用相对较弱。经 pH 值 4.36~4.91, 有效氯浓度 10~30 mg/L 的酸性电解水处理的黑小麦芽脂肪含量比自来水对照组降低 27.06%~36.93%, 还原糖含量降低 21.84%~56.58%, 总糖含量降低 13.68%~27.11%, 而蛋白质含量与对照组间无显著差异。因此在黑小麦芽的生产过程中, 适宜在种子浸泡阶段使用电解水, 而在芽苗淋浇阶段使用自来水, 这样既促进了种子的萌发, 也不会对黑小麦芽的生长产生抑制作用。

**关键词:** 电解水; 黑小麦; 发芽; 营养成分

文章编号: 1673-9078(2016)6-265-270

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2016.6.041

## Application of Electrolyzed Water in Black Wheat Sprout Production

LIU Rui<sup>1</sup>, YU Zhang-long<sup>2</sup>, SONG Yu<sup>2</sup>, JING Rui<sup>1</sup>

(1. Life Sciences Department, Yun Cheng University, Yuncheng 044000, China)

(2. Cotton Research Institute, Shanxi Academy of Agricultural Sciences, Yuncheng 044000, China)

**Abstract:** Electrolyzed water was used to produce black wheat sprouts, and the effect of electrolyzed water on germination, growth, and basic nutrient content of black wheat sprouts was investigated to provide a scientific basis for applying electrolyzed water in black wheat sprout production. The results showed that electrolyzed water promoted the germination of black wheat sprouts, and the germination rate of black wheat seeds treated with electrolyzed water at pH 4.55 with an available chlorine concentration of 20.14 mg/L was 15.29% higher than germination rates of seeds exposed to tap water. However, electrolyzed water inhibited the growth of hypocotyls and radicles of black wheat sprouts to various extents, while the inhibitory effects of acidic or alkaline electrolyzed water with pH values similar to that of tap water was relatively weak. The fat, reducing sugar, and total sugar content of black wheat sprouts treated with acidic electrolyzed water (pH: 4.36~4.91, available chlorine concentration: 10~30 mg/L) were 27.06~36.93%, 21.84~56.58%, and 13.68~27.11% lower than sprouts exposed to tap water, respectively, while no significant differences in protein content were seen between groups. Therefore, during the production of black wheat sprouts, electrolyzed water and tap water are suitable for the soaking stage and the spraying stage, respectively, which can promote the germination and prevent inhibition of black wheat sprout growth.

**Key words:** electrolyzed water; black wheat; germination; nutrient

小麦是主要的粮食作物之一, 小麦富含蛋白质、淀粉, 是良好的啤酒酿造原料, 小麦麦芽具有以下优点: 含有丰富的淀粉酶, 糖化能力高; 小麦芽中糖蛋白含量高, 利于稳定啤酒中的泡沫; 小麦芽无皮壳, 浸出物含量较高; 小麦芽单宁含量低, 利于啤酒的胶体和风味稳定性; 小麦芽含有相对较高的可溶性氮, 利于啤酒的发酵; 此外, 使用小麦芽可节约成本, 因而小麦芽具有的上述特性有利于啤酒的酿造<sup>[1]</sup>。细嫩

收稿日期: 2015-07-27

基金项目: 博士科研启动项目 (YQ-2014026); 山西省科技攻关项目 (20150311001-6)

作者简介: 刘瑞 (1987-), 女, 博士, 讲师, 研究方向: 食品加工新技术

的麦芽还可以在榨成汁后饮用, 被人们称为绿色饮品, 受到不少消费者的喜爱。

随着社会的不断发展, 人们的生活水平不断提高, 黑色健康食品受到人们的广泛关注。黑小麦是近些年培育成功的一类黑色食品, 是相对于颜色较浅籽粒而言的, 如蓝粒、紫粒、紫黑、黑色粒等都称为黑小麦。由山西省农科院棉花研究所培育的黑小麦经测定, 蛋白质平均含量、必需氨基酸含量比普通小麦高 19.3% 和 38.2%, 赖氨酸、苏氨酸含量分别比普通小麦高 33.3% 和 31.6%, 克服和弥补了普通小麦必需氨基酸的不足。矿物质硒、碘含量比普通小麦分别高 112.8% 和 78.3%, 而对人体有害的微量元素 Pb 比普通小麦低

72.2%，而且以黑小麦芽为原料发酵生产啤酒新产品的研究也已起步，因此黑小麦芽具有广阔的应用前景。但是由于种子在发芽过程中，发芽的温度和湿度均适宜微生物的生长繁殖，易污染有害微生物，而黑小麦发芽也不例外，这都会导致食源性疾病的爆发<sup>[2]</sup>。另外，黑小麦啤酒在制作过程中，也遇到一些问题，诸如黑小麦发芽率低、黑小麦芽中多糖等物质含量高，使得麦汁黏度增加，造成过滤困难，影响啤酒非生物稳定性。

电生功能水，又称电解水，是指将电解质溶液在电场中经过电解，获得的具有特殊功能的水。电解水因其具有杀菌高效、无残留、绿色环保无污染、制取方便和成本低廉等优点而被广泛应用于食品加工、医疗卫生和农业生产等领域<sup>[3]</sup>，且将电解水用于种子消毒取得了良好的效果<sup>[4-6]</sup>，因此本研究尝试用电解水生产黑小麦芽，探究电解水对种子发芽和生长的影响，并考察了电解水处理对黑小麦芽基本营养成分的影响，为电解水应用于黑小麦芽的生产提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

黑小麦由山西省农业科学院棉花研究所麦类作物研究室提供；试验中所用试剂均为国产分析纯。

### 1.2 主要仪器设备

MS-4000S 美滴乐酸性氧化电位水生成装置：Soosan E & C, Korea；FD-1 冷冻干燥机：北京德干佑科技发展有限公司；UV-5500pC 紫外可见分光光度计：上海元析仪器有限公司；PHS-3BWC 酸度计：上海精密科学仪器有限公司；TDL6m 台式低速冷冻离心机：湖南湘立科学仪器有限公司。

### 1.3 试验方法

#### 1.3.1 电解水的制备

用美滴乐酸性氧化电位水生成装置生产微酸性电解水，分别稀释为有效氯浓度为 10.72、20.14 和 30.27 mg/L，试验用微酸性电解水和自来水的 pH 值和有效氯浓度(ACC)等理化指标见表 1。试验中用到的有效氯浓度相近而 pH 值存在差异的电解水是通过用 0.2 mol/L 的 NaOH 溶液对酸性电解水进行调配，使其 pH 分别为 6.18、8.08 和 10.15，pH 值不同的电解水及对照自来水的理化指标见表 2。

#### 1.3.2 黑小麦芽的生产方法

挑选籽粒饱满、无虫蛀、无霉烂、无残破的黑小

麦，分别称取 30±0.1 g 的黑小麦于烧杯中，用清水淘洗 2~3 遍，然后分别浸泡到相应的处理组水中 ( $m/V=1/3$ ) 8 h。浸泡后将黑小麦沥出置于底部有孔的塑料盒 (25.6×15×4.5 cm) 中，使其在室温 (24~26 °C) 条件下，于黑暗避光处萌发，之后每天用相应的处理水淋浇 3 次，每次 100 mL，直至黑小麦芽收获，浸泡和淋浇阶段均用自来水代替电解水的处理组设置为作为对照组。

表 1 不同有效氯浓度的酸性电解水及自来水理化指标

Table 1 Physicochemical indexes of tap water and acidic electrolyzed water with different available chlorine concentrations

处理组	pH	ACC/(mg/L)
AEW 10	4.91±0.15	10.72±1.27
AEW 20	4.55±0.08	20.14±0.46
AEW 30	4.36±0.04	30.27±0.53
TW	7.36±0.02	ND

注：AEW: acidic electrolyzed water; TW: tap water; ACC: available chlorine concentration; ND: not detected.

表 2 不同 pH 值的电解水及自来水理化指标

Table 2 Physicochemical indexes of tap water and electrolyzed water with different pH values

处理组	pH	ACC
EW 6	6.18±0.04	31.02±0.23
EW 8	8.08±0.04	33.68±0.31
EW 10	10.15±0.12	33.68±0.75
TW	7.44±0.01	ND

注：EW: electrolyzed water; TW: tap water; ACC: available chlorine concentration; ND: not detected.

#### 1.3.3 黑小麦发芽率的测定

分别于浸泡结束后的第 12、16、20 和 24 h 统计黑小麦发芽率。计算方法为每 100 粒黑小麦为一组，发芽的黑小麦所占的比率。当黑小麦的胚根大于或等于 1 mm，则认为该黑小麦已发芽。

#### 1.3.4 黑小麦萌发过程中吸水程度的测定

分别称取 5.0±0.1 g 黑小麦，浸泡于各处理组用水中，在浸泡的 8 h 内，每隔 2 h 将黑小麦沥出，吸干表面水分并称量，记录重量后，重新泡入处理组和对照组用水中，直至浸泡过程结束。

#### 1.3.5 黑小麦芽形态学指标的测定

在浸泡阶段结束后的第 64 h 起，每隔 24 h 统计一次黑小麦芽的形态学指标，即用尺子测量黑小麦芽胚轴和胚根的长度。每个处理组的 30 根黑小麦为一组。

#### 1.3.6 黑小麦芽蛋白质含量的测定

参照 GB/T 5009.5-2010, 测定用表 1 中所列的酸性电解水及自来水对照处理黑小麦至发芽结束时黑小麦芽的蛋白质含量。

### 1.3.7 黑小麦芽脂肪含量的测定

参照 GB/T 5009.6-2003, 测定用表 1 中所列的酸性电解水及自来水对照处理黑小麦至发芽结束时黑小麦芽的脂肪含量。

### 1.3.8 黑小麦芽还原糖和总糖含量测定

参照已有方法并稍作修改<sup>[7]</sup>, 测定用表 1 中所列的酸性电解水及自来水对照处理黑小麦至发芽结束时黑小麦芽的还原糖和总糖含量。

## 1.4 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 不同有效氯浓度的酸性电解水对黑小麦发芽的影响

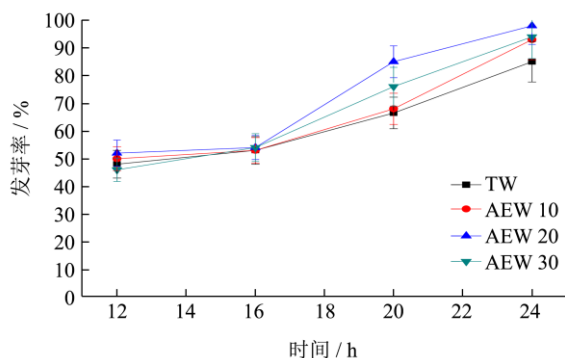


图 1 不同有效氯浓度的电解水对黑小麦发芽率的影响

Fig.1 Effect of electrolyzed water available chlorine concentration on the germination percentage of black wheat seeds

注: AEW: acidic electrolyzed water; TW: tap water.

试验考察了不同有效氯浓度的酸性电解水 (理化指标见表 1) 对黑小麦发芽的影响, 以自来水为对照组, 结果如图 1 所示, 可知随着发芽时间的延长, 有效氯浓度分别为 10、20 和 30 mg/L 的酸性电解水都能促进黑小麦的发芽。浸泡结束后的第 24 h, 有效氯浓度为 10.72、20.14 和 30.27 mg/L 电解水处理组黑小麦的发芽率分别高出自来水对照组 9.41%、15.29%、10.59%。酸性电解水促进黑小麦种子萌发是因其能促

使种皮破裂, 使种子能够更好的吸收水分。

酸性电解水促进黑小麦种子萌发, 这一结论与电解水促进绿豆种子萌发相一致<sup>[8]</sup>。这或许与酸性电解水的杀菌效果有关, 使用酸性电解水浸泡后的黑小麦, 其表面微生物数量有所减少, 这种环境更适宜黑小麦萌发。且相比自来水对照组而言, 经酸性电解水浸泡之后, 对于种子的表皮结构破坏更强, 这会加大电解水对于种子表面的浸润程度, 有利于杀灭种子表面微生物的同时也有利于种子的萌发<sup>[9]</sup>。

### 2.2 不同有效氯浓度的电解水对黑小麦种子吸水程度的影响

试验对浸泡于不同有效氯浓度的酸性电解水的黑小麦种子吸水程度进行了测定, 结果如图 2 所示, 可见随着浸泡时间的延长, 种子吸水导致种子的质量一直在增加。但不同的处理组的种子增重速度不同。相比自来水对照而言, 有效氯浓度分别为 10.72、20.14 和 30.27 mg/L 的酸性电解水都能促进黑小麦种子吸收水分。截至浸泡阶段结束时, 酸性电解水 10.72、20.14 和 30.27 mg/L 处理组的种子质量分别高出自来水的 5.78%、3.52% 和 4.90%。结合 2.1 部分的结果可知, 用有效氯浓度为 10.72、20.14 和 30.27 mg/L 的酸性电解水浸泡黑小麦种子, 不仅能够促进种子吸收水分, 同时使其发芽率提高。但水分的吸收程度并不是影响种子发芽率的唯一因素。种子的发芽率还与种子成熟度等因素有关<sup>[10]</sup>。

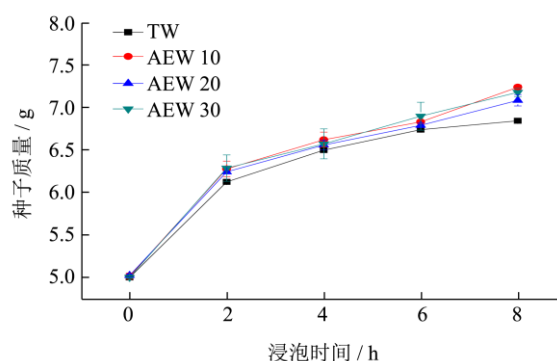


图 2 酸性电解水浸泡黑小麦吸水程度的测定

Fig.2 Water absorption capacity of black wheat seeds treated with acidic electrolyzed water and tap water

注: AEW: acidic electrolyzed water; TW: tap water.

### 2.3 不同有效氯浓度的酸性电解水对黑小麦芽形态学指标的影响

#### 2.3.1 不同有效氯浓度的酸性电解水对黑小麦

### 芽胚轴长的影响

试验考察了不同有效氯浓度的酸性电解水对黑小麦胚轴长的影响,结果如图3所示。可以看出不同有效氯浓度的酸性电解水对黑小麦的生长具有抑制作用,到浸泡结束后的第136h,有效氯浓度为10.72、20.14和30.27 mg/L的电解水处理组黑小麦芽的平均胚轴长度比自来水对照组分别缩短42.39%、37.24%和15.99%。这与之之前报道的关于电解水促进蔬菜、谷类芽苗菜生长的结论不一致<sup>[8-9,11-12]</sup>,说明酸性电解水不适宜黑小麦胚轴的生长。

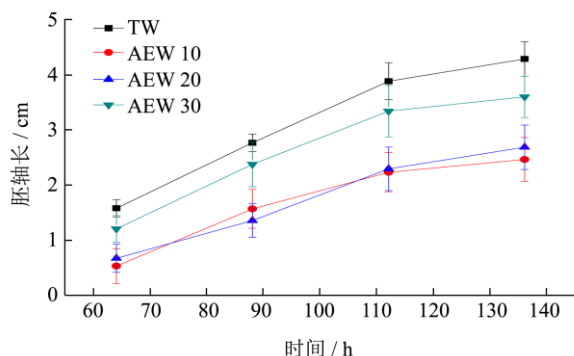


图3 不同有效氯浓度的酸性电解水对黑小麦芽胚轴长的影响

Fig.3 Effect of electrolyzed water available chlorine concentrations on the hypocotyl length of black wheat sprouts

注: AEW: acidic electrolyzed water; TW: tap water.

### 2.3.2 不同有效氯浓度的酸性电解水对黑小麦芽胚根长的影响

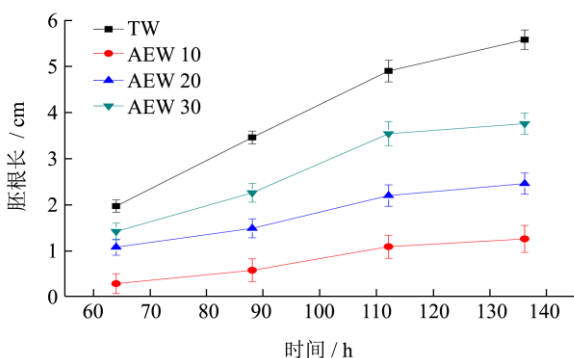


图4 不同有效氯浓度的酸性电解水对黑小麦芽胚根长的影响

Fig.4 Effect of electrolyzed water available chlorine concentrations on the radicle length of black wheat sprouts

不同有效氯浓度的酸性电解水对黑小麦芽胚根长度的影响结果如图4所示。由图可知,到浸泡结束后的第136h,有效氯浓度为10.72、20.14和30.27 mg/L的酸性电解水处理组黑小麦芽的平均胚根长度比自来水对照组分别缩短77.56%、56.01%和32.67%。结合2.3.1和2.3.2可知,酸性电解水不适宜黑小麦芽的生长。在考察的3个有效氯水平当中,30.27 mg/L的酸性电解水对黑小麦芽的抑制作用最弱,因此进一步研

究有效氯浓度为30 mg/L左右且pH值不同的电解水对于黑小麦发芽及生长的影响,以明确是否由于酸性的环境导致黑小麦芽的生长迟缓。

### 2.4 不同pH值的电解水对黑小麦发芽的影响

不同pH值的电解水(理化指标见表2)对黑小麦发芽率的影响如图5所示。可知pH值为6.18、8.08和10.15的电解水均可促进黑小麦发芽,且pH值为10.15的电解水处理组黑小麦发芽率在浸泡阶段的中后期增速较快,说明碱性电解水表现出了对种子表皮较强的浸润能力,从而促进种子的萌发。在浸泡结束后的第24h,pH 6.18、8.08和10.15的电解水处理组黑小麦发芽率为90%、96%和92%,分别高出自来水对照组5.88%、12.94%和8.24%。即相比自来水对照组而言,微酸性及碱性电解水都能提高黑小麦种子的发芽率。

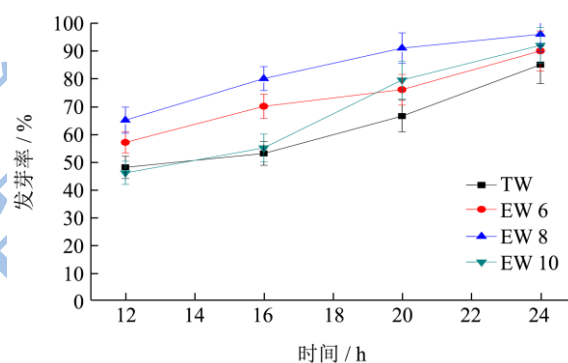


图5 不同pH值的电解水对黑小麦发芽的影响

Fig.5 Effect of electrolyzed water pH values on the germination percentage of black wheat seeds

注: EW: electrolyzed water; TW: tap water.

### 2.5 不同pH值的电解水对黑小麦芽形态学指标的影响

#### 2.5.1 不同pH值的电解水对黑小麦芽胚轴长的影响

不同pH值的电解水对黑小麦芽胚轴长度的影响结果如图6所示。到浸泡结束后的第136h,pH值为6.18、8.08和10.15的电解水处理组黑小麦芽的平均胚轴长度比自来水对照组分别缩短14.82%、18.00%和20.82%。结合2.3.1部分的结果可知,无论是酸性或碱性的电解水都对黑小麦芽的生长表现出了抑制作用。这与电解水对普通小麦芽生长的影响结果不一致,与自来水pH值相近的酸性或碱性电解水都可显著促进普通小麦芽的生长<sup>[13]</sup>。

黑小麦是不同于普通小麦的新品种,虽然黑小麦

具有的一些优良基因,尤其是抗病性基因已经在普通小麦上成功应用,使得普通小麦对于生物性和非生物性的环境胁迫的响应能力增强,且黑小麦还具有抗旱性、耐盐性等其他抗性特征,但通过研究发现,黑小麦在某些方面却没有表现出明显的优势,例如在抗重金属元素毒害方面,尤其是在种子萌发和幼苗生长阶段,黑小麦没有表现出这方面的抗性优势<sup>[14]</sup>。通过图6可知,电解水不适宜黑小麦芽胚轴的生长,而电解水当中含有多种活性氧成分,例如 $H_2O_2$ 和 $OH$ 等<sup>[15]</sup>,说明黑小麦对于活性氧成分也没有表现出抗性优势。

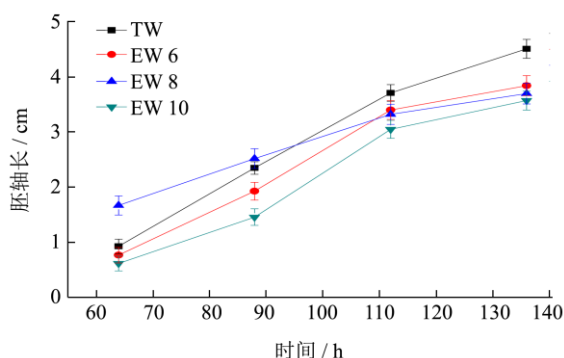


图6 不同pH值的电解水对黑小麦芽胚轴长的影响

Fig.6 Effect of electrolyzed water pH values on the hypocotyl length of black wheat sprouts

注: EW: electrolyzed water; TW: tap water.

## 2.5.2 不同pH值的电解水对黑小麦芽胚根长的影响

不同pH值的电解水对黑小麦芽胚根长度的影响结果如图7所示。可以看出到浸泡结束后的第136h, pH值为6.18、8.08和10.15的电解水处理组黑小麦芽的平均胚根长度比自来水对照组分别缩短37.29%、22.99%和41.01%。所以电解水既不适宜黑小麦芽胚轴的生长也不适宜其胚根的生长,即在幼苗生长阶段,黑小麦对于电解水中的活性氧成分所产生的生物胁迫响应能力脆弱,表现为电解水对其生长的抑制作用。

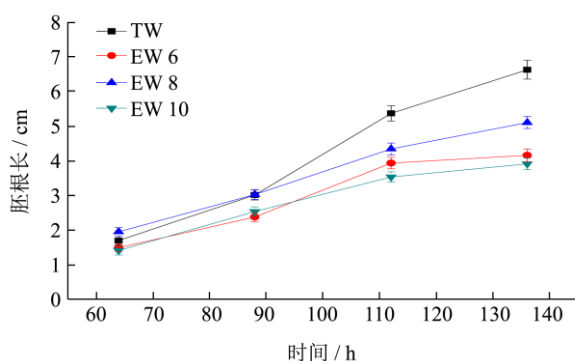


图7 不同pH值的电解水对黑小麦芽胚根长的影响

Fig.7 Effect of electrolyzed water pH values on the radicle

## length of black wheat sprouts

注: EW: electrolyzed water; TW: tap water.

## 2.6 酸性电解水对黑小麦芽基本营养成分含量的影响

为了进一步了解经酸性电解水处理的黑小麦芽的基本营养成分有何变化,试验考察了酸性电解水浸泡、淋浇处理对于黑小麦芽的蛋白质、脂肪、还原糖和总糖等基本营养成分含量的影响。

### 2.6.1 酸性电解水对于黑小麦芽蛋白质含量的影响

自来水对照组以及不同有效氯浓度的酸性电解水处理对黑小麦芽蛋白质含量的影响如图8a所示,自来水处理组黑小麦芽蛋白质含量为6.29%,有效氯浓度为10.72 mg/L和30.27 mg/L处理组的粗蛋白含量比对照组的高8.11%、4.93%,而有效氯浓度为20.14 mg/L则比对照组降低0.64%,但各处理组黑小麦的粗蛋白含量的差异并不显著( $p < 0.05$ ),所以电解水处理组对黑小麦芽粗蛋白含量没有太大影响。这与10~30 mg/L的微酸性电解水处理对绿豆芽蛋白质含量的影响结果相一致<sup>[15]</sup>。

### 2.6.2 酸性电解水对黑小麦芽脂肪含量的影响

自来水对照组以及不同有效氯浓度的酸性电解水处理对黑小麦芽中脂肪含量的影响结果如图8b所示,自来水处理组黑小麦芽脂肪含量为2.18%,有效氯浓度为10.72、20.14和30.27 mg/L电解水处理组的脂肪含量比自来水对照组分别降低27.06%、27.34%和36.93%,可见酸性电解水处理组的黑小麦芽脂肪含量都有不同程度的降低。

### 2.6.3 酸性电解水对黑小麦芽还原糖含量的影响

自来水对照组和不同有效氯浓度的酸性电解水处理组生产的黑小麦芽还原糖含量的测定结果如图8c所示,自来水处理组的还原糖含量为0.19 mg/mg,有效氯浓度为10.72、20.14和30.27 mg/L电解水处理组的还原糖含量比自来水对照组分别降低56.58%、41.58%和21.84%。这与10~30 mg/L的微酸性电解水处理使绿豆芽还原糖含量降低的结果相一致<sup>[14]</sup>。

### 2.6.4 酸性电解水对黑小麦芽总糖含量的影响

自来水对照组和不同有效氯浓度的酸性电解水处理组生产的黑小麦芽总糖含量的测定结果如图8d所示,自来水处理组的总糖含量为0.38 mg/mg干重,有效氯浓度为10.72、20.14和30.27 mg/L电解水处理组的还原糖含量比自来水对照组分别降低18.13%、

13.68%和 27.11%。这与 10~30 mg/L 的微酸性电解水处理使绿豆芽总糖含量降低的结果相一致<sup>[14]</sup>。

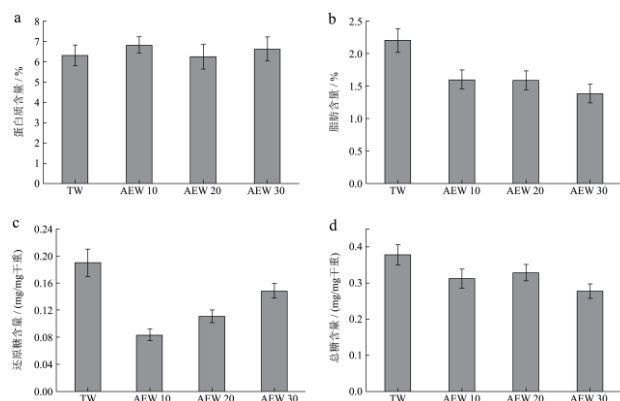


图8 酸性电解水对黑小麦芽(a)蛋白质、(b)脂肪、(c)还原糖、(d)总糖含量的影响

Fig.8 Effect of acidic electrolyzed water on (a) protein, (b) fat, (c) reducing sugar, and (d) total sugar content in black wheat sprouts

注: AEW: acidic electrolyzed water; TW: tap water.

### 3 结论

本研究考察了不同有效氯浓度的酸性电解水和不同 pH 值的电解水对于黑小麦发芽的影响, 相比自来水对照组而言, pH 介于 4.3~5, 有效氯浓度 10~30 mg/L 的酸性电解水以及 pH 为 6.18、8.08、10.15, 有效氯浓度为 31~34 mg/L 的电解水均可以促进黑小麦的发芽。但是在黑小麦芽的生长阶段, 电解水表现出了对黑小麦芽的抑制作用。所以在种子浸泡阶段采用电解水, 而在淋浇阶段使用自来水, 即将电解水与自来水搭配使用, 使黑小麦发芽具有可行性, 在促进种子发芽的同时也不会抑制黑小麦芽的生长, 同时因电解水具有的高效杀菌特性, 可以控制发芽过程中的微生物污染问题。对于酸性电解水处理的黑小麦芽基本营养成分测定结果表明, 各处理组黑小麦芽蛋白质含量无显著差异, 而经酸性电解水处理的黑小麦芽的脂肪、还原糖和总糖含量均有所降低。

### 参考文献

[1] 金玉红.制麦芽小麦品种筛选及其制麦特性研究 [D].泰安: 山东农业大学,2005  
JIN Yu-hong. Screening of malting wheat varieties and its characteristic research [D]. Taian: Shandong Agricultural University, 2005

[2] 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

[3] AL-HAQ M I, SUGIYAMA J, ISOBE S. Applications of electrolyzed water in agriculture & food industries [J]. Food Science and Technology Research, 2005, 11(2): 135-150

[4] STAN S. Bacterial inhibition by electrolyzed oxidizing water and application to disinfection of sprout seeds [D]. Oregon: Oregon State University, 2004

[5] Issa-Zacharia A, Kamitani Y, Miwa N, et al. Application of slightly acidic electrolyzed water as a potential non-thermal food sanitizer for decontamination of fresh ready-to-eat vegetables and sprouts [J]. Food Control, 2011, 22(3): 601-607

[6] Zhang C, Lu Z, Li Y, et al. Reduction of Escherichia coli O157: H7 and Salmonella enteritidis on mung bean seeds and sprouts by slightly acidic electrolyzed water [J]. Food Control, 2011, 22(5): 792-796

[7] 周楠迪,史峰,田亚平.生物化学实验指导[M].北京市: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] Rui Liu, Jianxiong Hao, Haijie Liu, et al. Application of electrolyzed functional water on producing mung bean sprouts [J]. Food Control, 2011, 22(8):1311-1315

[9] 周艳鑫,刘海杰,郝建雄,等.芽菜生产中利用电生功能水控制微生物污染的研究[J].食品科技,2011,36(5):103-107  
ZHOU Yan-xin, LIU Hai-jie, HAO Jian-xiong, et al. Applying electrolyzed water in sprouts production for controlling microbial contamination [J]. Food Science and Technology, 2011, 36(5): 103-107

[10] 谢阳娇,何志鹏,林伟,等.汉桃树种子发芽影响因素研究 [J].种子,2012,1(2):108-110  
XIE Yang-jiao, HE Zhi-peng, LIN Wei, et al. Study on the factors affecting seed germination of *Schefflera kwangsiensis* Merr. ex Li [J]. Seed, 2012, 31(2): 108-110

[11] 史佳琪.电解水对豆芽生长和生理功能活性的影响[D].北京:中国农业大学,2013  
SHI Jia-qi. Effect of electrolyzed water on growth and physiologically functional activity of soybean sprouts [D]. Beijing: China Agricultural University, 2013

[12] Rui Liu, Xiangli He, Jiaqi Shi, et al. The effect of electrolyzed water on decontamination, germination and  $\gamma$ -aminobutyric acid accumulation of brown rice [J]. Food Control, 2013, 33(1): 1-5

[13] 刘瑞.电生功能水在芽苗菜生产中的应用研究[D].北京:中国农业大学,2010  
LIU Rui. Application of electrolyzed functional water in the

- production of sprouts [D]. Beijing: China Agricultural University, 2010
- [14] 王彦梅,张玉秀,柴团耀,等.重金属对小麦和黑麦种子萌发及幼苗生长的影响[J].中国生态农业学报,2008,16(3): 802-804  
WANG Yan-mei, ZHANG Yu-xiu, CHAI Tuan-yao, et al. Effects of heavy metals on seed germination and young bud growth of wheat and rye [J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2008, 16(3): 802-804
- [15] 刘瑞,张冬晨,韭泽悟,等.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[J].现代食品科技, 2014, 30(4):112-117  
LIU Rui, ZHANG Dong-chen, NIRASAWA Satoru, et al. The effect of slightly acidic electrolyzed water on the content of phytohormones and nutrients of mungbean sprouts [J]. Modern Food Science and Technology, 2014, 30(4): 112-117

现代食品科技