

DOI: 10.16210/j.cnki.1007-7561.2022.01.014

杨尚儒, 辛镇忠, 王越, 等. 短时高压电场处理对萌发甜荞 γ -氨基丁酸积累的影响[J]. 粮油食品科技, 2022, 30(1): 113-118.YANG S R, XIN Z Z, WANG Y, et al. Effects of short time-high voltage electric field treatment on the accumulation of γ -aminobutyric acid in germinated buckwheat[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2022, 30(1): 113-118.

短时高压电场处理对萌发甜荞 γ -氨基丁酸积累的影响

杨尚儒, 辛镇忠, 王越, 王愈✉

(山西农业大学 食品科学与工程学院, 山西 太谷 030801)

摘要: 试验通过短时高压电场处理提高甜荞萌发后 γ -氨基丁酸 (γ -aminobutyric acid, GABA) 含量, 并对 GABA 支路相关酶活性进行测定。结果表明: 对照组中甜荞 GABA 含量达到 (184.38 ± 0.46) mg/100 g, 高压电场处理后甜荞中 GABA 含量可达到 (195.49 ± 0.81) mg/100 g, 显著高于对照组 ($P < 0.05$)。与对照组相比较, 高压电场处理可以显著提高甜荞中谷氨酸脱羧酶 (glutamic acid decarboxylase, GAD) 活性 ($P < 0.05$)、抑制琥珀酸半醛脱氢酶 (succinic semialdehyde dehydrogenase, SSADH) 活性 ($P < 0.05$), GABA 转氨酶 (GABA transaminase, GABA-T) 活性先提高、后降低。短时高压电场处理可以通过影响与 GABA 支路有关酶类活性来达到富集萌发甜荞中 GABA 的目的。

关键词: γ -氨基丁酸; 甜荞; 高压电场; 萌发; γ -氨基丁酸支路

中图分类号: TS213.3 文献标识码: A 文章编号: 1007-7561(2022)01-0113-06

Effects of Short Time-High Voltage Electric Field Treatment on the Accumulation of γ -Aminobutyric Acid in Germinated Buckwheat

YANG Shang-ru, XIN Zhen-zhong, WANG Yue, WANG Yu✉

(College of Food Science and Engineering, Shanxi Agricultural University, Taigu, Shanxi 030801, China)

Abstract: The short-time high-voltage electric field treatment was used to increase the GABA content of buckwheat after germination, and the activities of GABA shunt enzymes were measured. The results showed that buckwheat was soaked at 35 °C for 3 hours, after treatment with 1.0 KV/cm high-voltage electric field for 30 minutes. The buckwheat were incubated at 25 °C and 80% humidity for 24 hours. The content of GABA in the control group was (184.38 ± 0.46) mg/100 g, and the content of GABA in the treated group was (195.49 ± 0.81) mg/100 g, which was higher than that in the control group ($P < 0.05$). Compared with the control group, high voltage field treatment significantly increased the activities of glutamic acid decarboxylase (GAD) ($P < 0.05$), inhibited the activities of succinic semialdehyde dehydrogenase (SSADH) ($P < 0.05$), and increased and then decreased the activities of GABA transaminase (GABA-T). Short-time high-voltage electric field treatment can enrich GABA in germinating sweet buckwheat by affecting the activities of GABA shunt enzymes.

收稿日期: 2021-08-10

基金项目: 山西省重点研发计划课题 (201903D211007-1)

Supported by: Key Research and Development Project of Shanxi Province (No.201903D211007-1)

作者简介: 杨尚儒, 男, 1998 年出生, 在读研究生, 研究方向为农产品贮藏与加工方面的研究。E-mail: 798523048@qq.com.

通讯作者: 王愈, 男, 1968 年出生, 博士, 教授, 研究方向为功能食品。E-mail: sxtgwy@126.com.

Key words: GABA; buckwheat; high voltage electric field; germinate; GABA shunt

荞麦(Buckwheat),属于蓼科(Polygonaceae)荞麦属(Fagopyrum)。主要有甜荞(F. esculentum Moench)与苦荞(F. tataricum)两个栽培品种,在我国乃至世界范围都有广泛种植。甜荞是一种常见的营养丰富的杂粮,其中的GABA对人体有着重要调控功能。在脊椎动物体内,GABA作为抑制性神经递质,可以降低神经元活性,并与脑部抗焦虑受体结合,在其他物质的协调作用下达达到镇静神经改善脑功能的作用^[1]。国内外多项研究表明:糙米、黑米等谷物、大豆、绿豆等豆类及苦荞和大麦等麦类经萌发后GABA含量会得到提升^[2]。高立城等的研究表明,甜荞经萌发后氨基酸种类不发生变化,但部分氨基酸含量会上升;黄酮含量表现出先下降后上升的趋势;蛋白质含量呈现先上升后下降后又上升的趋势;脂肪和淀粉表现出整体下降的趋势^[3]。种子萌发后生理活性增加,多种代谢途径激活,与未经萌发处理的种子相比,营养成分发生改变,包括GABA在内的多种功能性成分含量提升,而部分抗营养因子含量降低^[4]。GAD是影响甜荞萌发过程中GABA积累的主要酶,甜荞经萌发后生物活性提高、多种酶被激活,GAD催化甜荞籽粒中的L-谷氨酸转化为GABA;GABA经过GABA-T的催化形成琥珀酸半醛(SSA);SSA进一步被SSADH催化形成琥珀酸并进入三羧酸循环,这个流程被称为GABA支路^[5]。合适的萌发处理条件可以提高相关酶活性,从而影响到GABA支路,从而提高了甜荞萌发过程中产生GABA的能力。

地球自身存在一定的电场,以大气层为零电势,地面平均电场强度为-130 V/m。地球的电场本身对生物的生长代谢有着一定影响。国内外几乎没有关于使用高压电场处理甜荞促进其萌发后GABA积累的研究,但是多项研究表明,外加高压电场处理会影响到植物种子的萌发、生长等^[6]。徐佳楠等发现通过高压电场处理可以促进菠菜新、陈种子萌发,并得到低场强处理效果不明显、过高场强处理抑制菠菜种子萌发的结论^[7]。高压电场可以通过改变酶的高级结构,影响酶活性的高低,进一步影响到植物的生理代谢^[8],王莘等

使用高压电场对月见草进行处理,结果表明电场处理使过氧化物酶同工酶活性增强,对生物膜保护作用增强,并且可以促进新蛋白合成和胚发育^[9]。胡建芳等通过高压电场处理高粱种子,结果表明适宜的电场处理可以提高高粱种子内 α -淀粉酶、SOD、POD的活性^[10]。

在国内,甜荞主要是制粉后作为原料制作面条、小吃等,而且有了方便荞麦面条、碗团等可工厂化生产的产品,但是这类产品特点在于方便,在营养及功能性方面有着极大的提升空间。甜荞经短期萌发后便于制粉且营养性得到提高,通过试验中方法处理甜荞使得其GABA含量得到提升,以处理后的甜荞为原料制得的产品在不影响原产品口感、外形等品质的前提下具有更高的营养价值,可产生更多的经济效益,而且符合现代人的饮食理念。

1 材料与方法

1.1 试验材料

甜荞:内蒙古赤峰;GABA标准品:北京索莱宝科技有限公司;四硼酸钠(分析纯):天津市北辰方正试剂厂;次氯酸钠溶液(分析纯):天津市天力化学试剂有限公司;重蒸苯酚(分析纯):上海蓝季科技有限公司;无水乙醇(分析纯):北京华腾化工有限公司;植物谷氨酸脱羧酶(GAD)ELISA试剂盒:江苏晶美生物科技有限公司;植物GABA转氨酶(GABA-T)ELISA试剂盒、植物琥珀酸半醛脱氢酶(SSADH)ELISA试剂盒:江苏酶免实业有限公司。

1.2 仪器与设备

高压直流电源(0 V~30 KV):天津市东文高压电源厂;LDZ5-2型低速自动平衡离心机:北京雷勃尔离心机有限公司;P4型分光光度计:上海美谱达仪器有限公司;LRHS-250-II型恒温恒湿培养箱:上海跃进医疗器械有限公司;多功能粉碎机:北京科伟永兴仪器有限公司;KQ-250DE型超声波清洗器:昆山市超声仪器有限公司;424R型冷冻离心机:德国Eppendorf公司;SpectraMax iD5-多功能酶标仪:美谷分子仪器(上

海)有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 甜荞处理方式及指标测定

挑选颗粒完整、大小均匀的甜荞籽粒,之后清水淘洗,并加入约甜荞籽粒二倍体积的自来水,并在预先设置的符合试验条件的温度下浸泡数小时。甜荞籽粒经浸泡后吸水膨胀,更利于萌发。将浸泡过后的甜荞籽粒用清水冲洗,洗去表面粘液与浮沫。冲洗过的甜荞籽粒平铺于塑料托盘并覆盖上湿纱布以保证萌发过程中的水分。将盛有试验样品的托盘放置于设好温度与湿度的恒温恒湿培养箱中,设置温度为 25 ℃,湿度为 80%。培养 0、8、16、24、32、40 h 后取出甜荞样品放置于-80 ℃冰箱待测。需干燥的样品利用真空冷冻干燥机冻干,之后使用多功能粉碎机粉碎,粉碎时间为 1 min,待粉碎机冷却彻底后进行下一批样品粉碎,样品粉末过 80 目筛。得到的样品粉末用塑封袋密封、避光保存,以待测定。

GABA 易溶于水,微溶于乙醇等有机溶剂,可利用蒸馏水对样品粉末中的 GABA 进行提取。称取 3 g 样品粉末,加水混匀后定容至 30 mL。将制得的样品混合溶液用蒸馏水在 35 ℃的条件下超声波震荡提取 30 min,之后利用离心机在 5 000 r/min 的条件下离心 20 min,取甜荞样品提取液上清液备测。GABA 与常规氨基酸在 Berthelot 反应中的响应差别巨大,利用 Berthelot 反应进行测定^[11]。取 300 μL 甜荞样品提取液,加入 0.1 mol/L 四硼酸氢钠缓冲液 200 μL,6%重蒸苯酚 400 μL,7.5%次氯酸钠 600 μL。沸水浴 10 min,后冰浴 5 min,期间不断摇晃,最后加入 60%乙醇 2 mL。在波长 645 nm 处测量吸光度。

酶活性利用酶联免疫试剂盒中相应方法测定。

1.3.2 高压电场搭建及处理方式

试验中采用的高压电场由实验室自行搭建。高压电场的电极板使用表明平整光滑的不锈钢板并涂抹不锈钢漆制成,极板长 1.5 m、宽 0.8 m,将极板平行放置于木质的多层结构。将其中一片极板与高压直流电源相接,其临近的极板与地线相接,当电源接通后两极板间形成一个高压电场。高压电场运行工作时产生的高压会对空气有电离作用,并会产生臭氧,故高压电场的工作环境要

干燥且通风良好。

经浸泡处理后的甜荞籽粒需及时进行高压电场处理,将浸泡吸涨后的甜荞籽粒平铺于托盘并覆盖湿润的纱布保证其湿度,托盘放置于电场的电极板之间,且尽量放于极板中间位置,减少边界效应的影响。之后接通电源,调整合适的输出电压,处理一段时间后关闭电源,将处理后的甜荞转入合适的培养环境。

1.4 数据分析

试验重复 3 次,数据处理使用 IBM SPSS Statistics 23.0 软件。

2 结果与分析

2.1 高压电场处理对甜荞萌发后 GABA 含量的影响

2.1.1 电场强度和方向对 GABA 含量的影响

甜荞籽粒在 35 ℃条件下浸泡 3 h,甜荞籽粒为菱形,模拟实际生产,浸泡后的甜荞自由散落后侧躺于平面,电场方向垂直于地面。使用电场强度为 0,0.5,1.0,1.5 KV/cm 及-0.5,-1.0,-1.5 KV/cm 的高压电场分别处理 30 min,经电场处理后的甜荞在温度 25 ℃,湿度 80%的条件下培养 24 h,以电场强度 0 KV/cm 处理组为空白对照组。试验结果如图 1 所示。在相同电场强度下不同场强方向处理后的甜荞中 GABA 含量差异不显著 ($P < 0.05$)。对照组 GABA 含量 (171.68 ± 0.45) mg/100 g,场强 0.5 KV/cm 处理组 GABA 含量 (181.82 ± 1.37) mg/100 g,场强 1.0 KV/cm 处理组 GABA 含量 (190.18 ± 1.37) mg/100 g,1.5 KV/cm 处理组 GABA 含量 (192.12 ± 0.52) mg/100 g。电场处理组与空白对照组相比 GABA 含量差异显著 ($P < 0.05$);场强 0.5 KV/cm 处理组与场强 1.0 KV/cm 处理组差异显著 ($P < 0.05$);场强 1.0 KV/cm 处理组与场强 1.5 KV/cm 处理组差异不显著 ($P < 0.05$)。试验结果表明:外加高压电场可以显著提高甜荞萌发过程中产生 GABA 的能力。在一定电场强度范围内,随着场强的增加,甜荞萌发后 GABA 含量越高,但是当外加电场强度到达一定程度时 (1.0 KV/cm~1.5 KV/cm) GABA 的含量无显著提升;试验还表明电场方向对自由散落后侧卧的甜荞萌发过程中产生 GABA 的含量无显著影响。

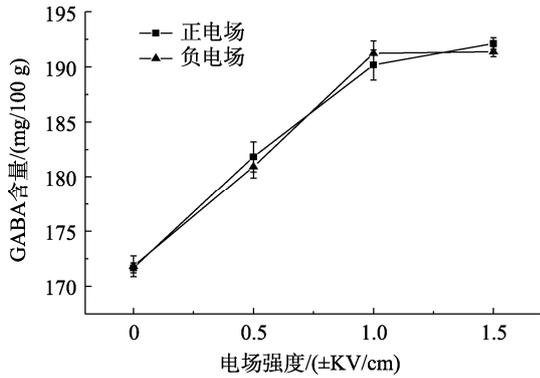


图 1 电场强度对萌发后甜荞中 GABA 含量的影响
Fig. 1 Effect of electric field intensity on GABA content in buckwheat after germination

2.1.2 电场处理时间对 GABA 含量的影响

甜荞浸泡后在 1.0 KV/cm 的电场中处理不同时间, 试验结果如图 2 所示。在 30~60 min 处理组间甜荞中 GABA 含量差异不显著 ($P < 0.05$); 15 min 处理组与 60 min 处理组差异显著 ($P < 0.05$)。高压电场处理时间 30 min 以上时, 外加高压电场处理的时间对甜荞中 GABA 的含量无显著影响。试验结果表明: 甜荞经 1.0 KV/cm 的电场处理 30 min 以上, 其 GABA 含量得到显著提升。

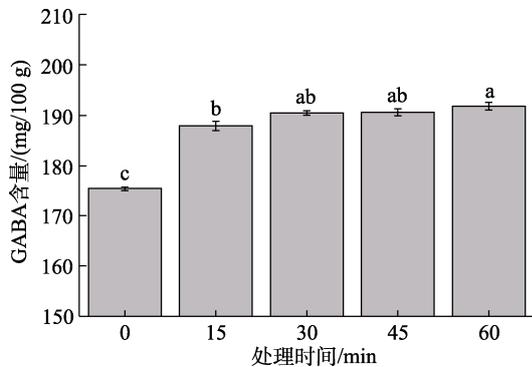


图 2 电场处理时间对萌发后甜荞中 GABA 含量的影响
Fig. 2 Effect of electric field treatment time on GABA content in buckwheat after germination

2.1.3 电场处理后甜荞萌发 40 h 内 GABA 含量的变化

由试验 2.1.1、2.1.2 可知使用 1.0 KV/cm 高压电场处理 30 min, 在节能的同时也能够对甜荞中 GABA 的富集达到最优效果。在该条件下对浸泡后的荞麦处理, 同时设置未经高压电场处理的甜荞为对照组, 每隔 8 h 取样一次, 测定其 40 h 内 GABA 含量变化, 结果如图 3 所示。甜荞在萌发 40 h 内其 GABA 含量呈现出先上升后下降的趋

势, 且在 24 h 含量达到最高, 此时未处理组甜荞 GABA 含量为 (184.38 ± 0.46) mg/100 g, 电场处理组中甜荞 GABA 含量达到 (195.49 ± 0.81) mg/100 g。在甜荞萌发 16 h 后, 甜荞中 GABA 含量显著提高 ($P < 0.05$), 高压电场处理组中 GABA 含量显著高于对照组 ($P < 0.05$)。甜荞萌发 24 h 后 GABA 含量开始降低。

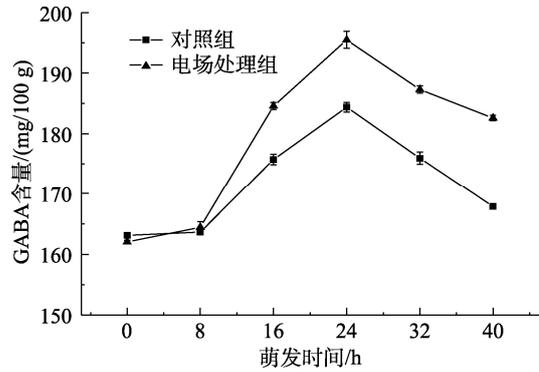


图 3 电场处理后甜荞萌发 40 h 内 GABA 含量的变化
Fig. 3 Changes of GABA content in buckwheat after electric field treatment within 40 h of germination

2.2 电场处理对甜荞 GABA 合成相关酶类活性的影响

2.2.1 电场处理对甜荞萌发过程中 GAD 活性的影响

GAD 可以促进甜荞萌发过程中 GABA 的合成。使用 1.0 KV/cm 高压电场处理甜荞 30 min, 并对其萌发 40 h 内 GAD 活性进行测定, 结果如图 4 所示。经高压电场处理后的甜荞萌发 40 h 内 GAD 活性整体高于未处理组 ($P < 0.05$); 甜荞在浸泡后 GAD 有着较高活性, 萌发初期 GAD 活性降低, 之后不断提高, 在萌发 24~32 h 期间 GAD 活性较高, 32 h 后 GAD 活性降低。高压电场处

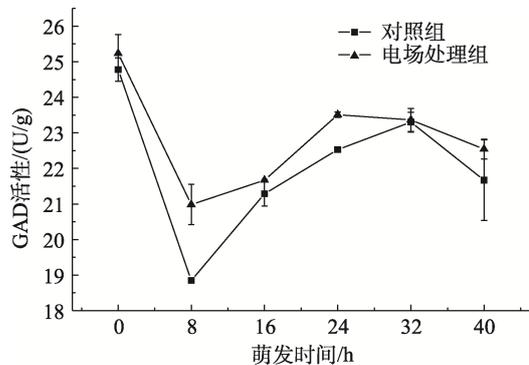


图 4 电场处理对甜荞萌发过程中 GAD 活性影响
Fig. 4 Effect of electric field treatment on GAD activity during germination of buckwheat

理对甜荞中 GAD 活性影响主要表现在萌发初期, 经处理后甜荞在萌发初期 GAD 活性要明显高于对照组; 萌发 40 h 内甜荞中 GAD 活性也与甜荞中 GABA 的含量表现出相关性。

2.2.2 电场处理对甜荞萌发过程中 GABA-T 活性的影响

GABA-T 促进甜荞中 GABA 分解转化为 SSA。使用 1.0 KV/cm 高压电场处理甜荞 30 min, 并对其萌发 40 h 内 GABA-T 活性进行测定, 结果如图 5 所示。对于高压电场处理组, 萌发 0~16 h 期间, 处理组甜荞中的 GABA-T 活性要显著高于对照组 ($P<0.05$), 但是未对该阶段甜荞萌发过程中 GABA 的整体积聚有降低作用, 推测其活性变高是由于电场处理提高了萌发初期 GAD 活性并促进 GABA 的积累, 大量 GABA 的产生刺激了相关代谢而促进了 GABA-T 活性的提高; 在萌发 16 h 后 GABA-T 活性急剧降低, 并且在萌发 24~40 h 期间处理组中 GABA-T 活性要显著低于对照组 ($P<0.05$), 这利于甜荞萌发中后期 GABA 的积累。对照组中 GABA-T 活性呈现出较为规律的先上升后降低的趋势。

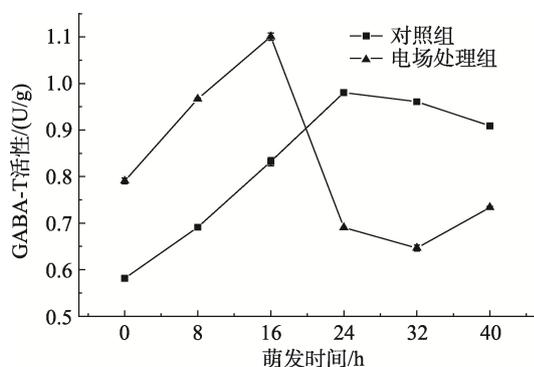


图5 电场处理对甜荞萌发过程中 GABA-T 活性影响
 Fig. 5 Effect of electric field treatment on GABA-T activity during germination of buckwheat

2.2.3 电场处理对甜荞萌发过程中 SSADH 活性的影响

SSADH 是参与 GABA 代谢支路最后环节的酶。使用 1.0 KV/cm 高压电场处理甜荞 30 min, 并对其萌发 40 h 内 SSADH 活性进行测定, 结果如图 6 所示。高压电场处理组甜荞中 SSADH 活性整体低于对照组。在处理组中, 8~16 h 期间 SSADH 活性明显提高, 推测是由于在该阶段 GABA-T 活性较高, 大量生成的 SSA 使得 SSADH

活性提高来将 SSA 转化为琥珀酸, 之后随着 GABA-T 活性降低, SSA 合成减少, SSADH 活性降低; 对照组中 GABA-T 在 24~40 h 期间保持较高活性, 在此期间 SSADH 活性要显著高于处理组 ($P<0.05$)。

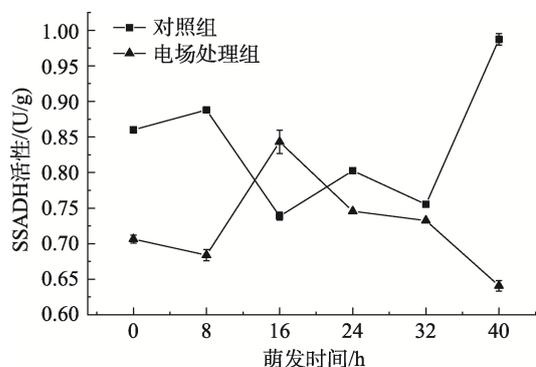


图6 电场处理对甜荞萌发过程中 SSADH 活性影响
 Fig. 6 Effect of electric field treatment on SSADH activity during buckwheat germination

2.3 分析讨论

多项研究表明, 外加高压电场处理可以影响到植物细胞结构, 促进植物细胞受损结构修复、增加细胞活性。外加高压电场可以改变酶的高级结构, 进一步影响到其活性。水分子团处于一种大分子团解缔为小分子团, 小分子团缔结为大分子团的过程, 高压电场极有可能打破这一平衡, 活化了水分子团, 水作为生物体内各种反应的介质, 其性质的改变会影响到相关酶促反应的速率。此外, 高压电场会使水中产生过量超氧阴离子自由基, 超氧阴离子自由基可以增加植物细胞膜通透性, 除了增加籽粒对外界水、无机盐、氧、氮等的吸收, 还可以激活部分相关酶系的调控基因, 加速种子萌发代谢^[9]。本试验中, 外加高压电场处理组与未处理组相比, 甜荞经萌发后 GABA 的含量显著提升, 证明合适条件的高压电场处理可以提高甜荞萌发过程中产生 GABA 的能力。试验中高压电场对 GABA 代谢支路中的多种酶类产生影响, 促进了甜荞萌发过程 GABA 的积累。郝建雄等的研究表明甜荞在萌发 2 d 以内其 GAD 活性较高, 之后 GAD 活性下降明显^[12]。部分研究表明通过 Ca^{2+} 或 H_2O_2 等化学试剂胁迫及真空处理也可以促进谷物中 GABA 或是其他营养成分的积累^[13-14]。

3 结论

甜荞萌发后 GABA 含量随着电场处理时电场强度增加得到提升,但在场强到达一定强度(1.0~1.5 KV/cm)后无法继续提高,且电场方向对自由散落后侧躺状态的甜荞中 GABA 含量无显著影响($P<0.05$);电场处理处理 30~60 min 间甜荞 GABA 含量无显著差异($P<0.05$)。由试验可得处理甜荞的最佳条件为使用 1.0 KV/cm 高压处理 30 min。甜荞浸泡处理后外加场强 1.0 KV/cm 的高压电场处理 30 min,之后在温度 25 °C,湿度 80% 条件下萌发 24 h。经该方式处理后甜荞中 GABA 含量达到(195.49 ± 0.81) mg/100 g,对照组中甜荞 GABA 含量达到(184.38 ± 0.46) mg/100 g,差异显著($P<0.05$)。

高压电场处理会影响到甜荞 GABA 代谢支路中酶的活性。电场处理后甜荞萌发过程中 GAD 的活性得到提高;GABA-T 活性萌发前期得到提升,中后期显著降低;电场处理对 SSADH 活性整体表现出抑制作用。萌发过程中甜荞 GABA 含量与 GAD 活性表现出一定的相关性,证实 GAD 是影响甜荞萌发过程中 GABA 积累的主要酶类,同时也表明高压电场通过影响 GABA 支路相关酶类活性来达到对甜荞萌发过程中 GABA 的富集。

参考文献:

- [1] 许建军,江波,许时婴. γ -氨基丁酸(GABA)——一种新型的功能食品因子[J]. 食品工业科技, 2003(1): 109-110+42.
XU J J, JIANG B, XU S Y. γ -Aminobutyric Acid(GABA)——a novel functional food factor[J]. Science and Technology of Food Industry, 2003(1): 109-110+42.
- [2] 马先红,刘景圣,陈翔宇. 粮食发芽富集 GABA 及食品开发研究进展[J]. 食品研究与开发, 2015, 36(21): 198-200.
MA X H, LIU J S, CHEN X Y. Research progress on enrichment of γ -Aminobutyric acid in germinated grain and function food[J]. Food Research And Development, 2015, 36(21): 198-200.
- [3] 高立城,夏美娟,白文明,等. 甜荞和苦荞萌发过程中营养成分分析[J]. 营养学报, 2019, 41(6): 617-619.
GAO L C, XIA M J, BAI W M, et al. Nutritional analysis of common buckwheat and tartary buckwheat during germination[J]. Acta Nutrimenta Sinica, 2019, 41(6): 617-619.
- [4] 周小理,宋鑫莉. 萌动对植物籽粒营养成分的影响及甜荞萌动食品的研究[J]. 上海应用技术学院学报(自然科学版), 2009, 9(3): 171-174+192.
ZHOU X L, SONG X L. A study of the effect of bourgeon on the nutrients in the sprouts of plant seeds and food of germinated Buckwheats[J]. Journal of Shang Hai Institutr of Technology(Natural Science), 2009, 9(3): 171-174+192.
- [5] 蒋振晖,顾振新. 高等植物体内 γ -氨基丁酸合成、代谢及其生理作用[J]. 植物生理学通讯, 2003(3): 249-254.
JIANG Z H, GU Z X. Biosynthesis, catabolism and physiological roles of γ -Aminobutyric acid in higher plants[J]. Plant Physiology Communication, 2003(3): 249-254.
- [6] 高伟娜,顾小清. 高压静电场对植物生物学效应的研究进展[J]. 现代生物医学进展, 2006(7): 60-62.
GAO W N, GU X Q. The biological effects of high voltage electrastatic field on plants[J]. Progress in Modern Biomedicine, 2006(7): 60-62.
- [7] 徐佳楠,王全华,葛晨辉,等. 静电场处理对菠菜种子萌发及苗期生长的影响[J]. 北方园艺, 2020(14): 1-7.
XU J N, WANG Q H, GE C H, et al. Effects of electrostatic field treatment on seed germination and seedling growth of spinach[J]. Northern Horticulture, 2020(14): 1-7.
- [8] 王莘,王德辉,祝威,等. 静电处理对月见草种子萌发期酶谱谱带的影响[J]. 吉林农业大学学报, 1998(2): 96-98.
WANG S, WANG D H, ZHU W, et al. Effect of HVEF on Isozyme strip of oenothera biennis L seeds during their sprouting period[J]. Journal of Jilin Agricultural University, 1998(2): 96-98.
- [9] 胡建芳,张作伟,杜慧玲,等. 高压电场处理对高粱种子萌发期酶活性的影响[J]. 河南农业科学, 2017, 46(11): 30-34.
HU J F, ZHANG Z W, DU H L, et al. Effect of high voltage electric field on enzyme activity of sorghum seeds during the germinating period[J]. Journal of Henan Agricultural Sciences, 2017, 46(11): 30-34.
- [10] XU W Q, SONG Z Q, LUAN X Y, et al. Biological effects of high-voltage electric field treatment of naked oat seeds[J]. Applied Sciences, 2019, 9(18).
- [11] 陈恩成,张名位,彭超英,等. 比色法快速测定糙米中 γ -氨基丁酸含量研究[J]. 中国粮油学报, 2006(1): 125-128.
CHEN E H, ZHANG M W, PENG C Y, et al. Spectrophotometry determination of γ -Aminobutyric acid in brown rice[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2006(1): 125-128.
- [12] HAO J X, WU T J, LI H Y, et al. Dual effects of slightly acidic electrolyzed water (SAEW) treatment on the accumulation of γ -aminobutyric acid (GABA) and rutin in germinated buckwheat[J]. Food Chemistry, 2016, 201.
- [13] 姜秀杰,许庆鹏,张爱武,等. 植物代谢法富集粮食中 γ -氨基丁酸的研究进展[J]. 黑龙江八一农垦大学学报, 2021, 33(1): 33-39.
JIANG X J, XU Q P, ZHANG A W, et al. Research progress on γ -Aminobutyric acid accumulation in grain by plant metabolism method[J]. Journal of Heilongjiang Bayi Agricultural University, 2021, 33(1): 33-39.
- [14] 王斌,贾才华,赵思明,等. 真空处理对发芽稻谷中 γ -氨基丁酸含量的影响[J]. 中国粮油学报, 2019, 34(4): 13-16.
WANG B, JIA C H, ZHAO S M, et al. Effect of vacuum treatment on GABA content in germinated paddy[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2019, 34(4): 13-16.