

郭俊花,许先猛,马欣,等. 利用苹果皮渣发酵制备天然酵素工艺优化及其对苹果品质的影响[J]. 江苏农业科学,2018,46(1):97-101.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.01.026

# 利用苹果皮渣发酵制备天然酵素工艺优化及其对苹果品质的影响

郭俊花,许先猛,马欣,王晓东,李振群

(运城职业技术学院有机食品工程系,山西运城 044000)

**摘要:**以苹果皮渣为原料,通过单因素和正交试验,研究苹果皮渣添加量、加糖量、初始 pH 值、发酵时间对酵素超氧化物歧化酶(SOD)活性和总酸含量的影响,优化发酵制备天然酵素的工艺条件,并将制备的天然苹果皮渣酵素在红富士苹果种植过程中进行应用,考察酵素对苹果果实品质的影响。结果表明,苹果皮渣酵素的最佳发酵条件为苹果皮渣添加量 400 g/L、加糖量 90 g/L、初始 pH 值 5.5、发酵时间 150 d,此时制得的酵素总酸含量为 3.96 g/L, SOD 活性为 66.2 U/mL;红富士苹果在生长过程中,施用苹果皮渣酵素可以使单果质量提高 9.8%,可溶性固形物、总酸、蛋白质、还原糖含量等指标提高 20% 以上,同时,果实硬度、总灰分、维生素 C 含量、总糖含量、多酚含量、黄酮含量等提高。

**关键词:**苹果皮渣;酵素;工艺优化;果实品质;红富士;加糖量;发酵时间

**中图分类号:** TS201.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)01-0097-04

微生物酵素是指以 1 种或多种新鲜蔬菜、水果、菌菇、中草药等为原料,经多种有益菌发酵而产生,含有丰富微生物、酶、矿物质和次生代谢产物等营养成分的功能性微生物发酵产品<sup>[1]</sup>。酵素菌是一种微生物,又被称为农用酵素(BYM),早在 20 世纪 40 年代由日本的岛本觉发明,并在农业生产中发挥了重要作用<sup>[2]</sup>,而酵素菌肥可以改善土壤理化性质,提高土壤供肥能力,又可以抑制有害病菌,促进作物早熟,改善果树树体营养,提高水果的产量和质量<sup>[3]</sup>。目前,对果蔬酵素的研究主要是优化发酵工艺、功能性成分研究等方面<sup>[4-7]</sup>,且主要强调酵素在食用、保健方面的突出功效,果蔬酵素对种植业的功效研究较少。

苹果是我国的第一大水果,2016 年产量达 5 400 万 t,占世界总产量的 50% 以上,其中约有 20% 用于工业化深加工,每年将产生数以万吨的苹果渣,而这些苹果渣除少量用作燃料、饲料和提取果胶外,大部分被当做垃圾处理,造成资源极大浪费<sup>[8]</sup>。本试验以苹果果脯加工企业生产过程中的下脚料——苹果皮渣为原料,利用果皮本身含有的天然有益微生物进行苹果皮渣酵素制备,并将苹果皮渣酵素运用在有机苹果的种植过程中,研究酵素对苹果生长过程果实品质的影响,以提高苹果皮渣的利用价值,减少巨大的资源浪费,并能为苹果产业的发展另辟蹊径。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

1.1.1 原料 苹果皮渣,由山西泽源食品有限公司提供。

1.1.2 试剂 纯度 98% 的没食子酸标准品,由贵州遵义佳

宏化工有限公司生产;福林酚试剂、芸香苷标准品,为美国 Sigma 公司产品;抗坏血酸标准品,由上海谷研生物化学研究所生产;氢氧化钠、无水碳酸钠、硝酸铝、亚硝酸钠、浓硫酸、硫酸铜、硫酸钾、草酸、2,6-二氯酚、碳酸氢钠、亚铁氰化钾、亚甲基蓝、邻苯三酚、三羟甲基氨基甲烷(Tris)、乙二胺四乙酸二钠(EDTA-Na<sub>2</sub>)、磷酸氢二钠、磷酸二氢钠,均为分析纯,市购。

1.1.3 仪器 JJ-2 组织捣碎匀浆机,江苏常州国华电器有限公司生产;JY92-II 超声细胞粉碎机,宁波新芝生物科技股份有限公司生产;1/1 000 g BSA323S 电子分析天平,德国赛多利斯公司生产;3K15 高速冷冻离心机,德国 Sigma 公司生产;FE20K pH 计,瑞士梅特勒托利多公司生产;WYT-32ATC 手持糖度折光仪,福建泉州仪器有限公司生产;游标卡尺 0~150 mm,上海量具刃具厂生产;GY-B 硬度计,吉林四平机械设备公司生产;SX2-4-10 马福炉,北京科伟仪器有限公司生产;754 紫外分光光度计、722N 可见分光光度计,上海菁华仪器有限公司生产;1 000 W 万用电炉,天津泰斯特仪器有限公司生产。

### 1.2 试验方法

1.2.1 苹果皮渣酵素发酵工艺 将苹果皮渣打浆,用超声波 400 W 处理 10 min;红糖用紫外线杀菌 45 min,用无菌水溶解,置于已灭菌的玻璃瓶中,加入苹果皮渣,搅拌均匀,用苹果醋调节发酵液 pH 值至合适值;封口,放于暗处,15~25℃ 下发酵<sup>[9]</sup>。

1.2.2 苹果皮渣酵素发酵的单因素试验设计

1.2.2.1 苹果皮渣量 分别取 100、200、300、400、500 g 苹果皮渣,打浆,超声波处理;分别取 90 g 红糖溶解于 1 000 mL 无菌水中,置于已灭菌的玻璃瓶中,并加入苹果皮渣,搅拌均匀,用苹果醋调节初始 pH 值至 5.0;封口,放于暗处,15~25℃ 下发酵 150 d;测定苹果皮渣酵素的酵素超氧化物歧化酶(SOD)活性和总酸含量。

收稿日期:2017-04-19

基金项目:山西省哲学社会科学基金项目(编号:20162227)。

作者简介:郭俊花(1986—),女,山西临汾人,硕士,讲师,主要从事发酵食品、功能食品研究。E-mail:137822192@qq.com。

1.2.2.2 加糖量 取 300 g 苹果皮渣,打浆,超声波处理;分别取 30、60、90、120、150 g 红糖溶解于 1 000 mL 无菌水中,置于已灭菌的玻璃瓶中,加入苹果皮渣,搅拌均匀,用苹果醋调节初始 pH 值至 5.0;封口,放于暗处,15~25 ℃ 下发酵 150 d;测定苹果皮渣酵素的 SOD 活性和总酸含量。

1.2.2.3 初始 pH 值 取 300 g 苹果皮渣,打浆,超声波处理;分别取 90 g 红糖溶解于 1 000 mL 无菌水中,置于已灭菌的玻璃瓶中,加入苹果皮渣,搅拌均匀,分别用苹果醋调节初始 pH 值至 4.0、4.5、5.0、5.5、6.0;封口,放于暗处,15~25 ℃ 下发酵 150 d;测定苹果皮渣酵素的 SOD 活性和总酸含量。

1.2.2.4 发酵时间 取 300 g 苹果皮渣,打浆,超声波处理;分别取 90 g 红糖溶解于 1 000 mL 无菌水中,置于已灭菌的玻璃瓶中,加入苹果皮渣,搅拌均匀,分别用苹果醋调节初始 pH 值至 5.0;封口,放于暗处,15~25 ℃ 下分别发酵 90、120、150、180、210 d;测定苹果皮渣酵素的 SOD 活性和总酸含量。

1.2.3 苹果皮渣酵素发酵正交试验设计 在单因素试验的基础上,以苹果皮渣添加量、红糖添加量、初始 pH 值、发酵时间为自变量因素,以 SOD 活性和总酸含量为评价指标,进行  $L_9(3^4)$  正交试验,以确定苹果皮渣酵素的最佳发酵工艺条件(表 1)。

表 1 苹果皮渣酵素发酵正交试验因素水平设计

水平	因素			
	A:苹果皮渣添加量 (g/L)	B:加糖量 (g/L)	C:初始 pH 值	D:发酵时间 (d)
1	200	60	4.5	120
2	300	90	5.0	150
3	400	120	5.5	180

1.2.4 苹果皮渣酵素对红富士苹果生长过程中果实品质的影响 以山西省运城市临猗县孙吉有机果园为试验点,选择树势均匀一致、果园土壤差异相对较小、栽培措施基本一致的 10 年生红富士苹果树为试验对象,选择 10 株于当年 9 月 26 日,次年 3 月 28 日、5 月 2 日分别施入 5、2、2 kg/株苹果渣酵素,另选 10 株不施苹果渣酵素作为对照。果树生长期间不进行其他施肥管理。苹果生长过程中,测定 2 个处理的总酸、可溶性固形物含量及固酸比、硬度,6 月 15 日进行第 1 次采样,后每隔 14 d 采样 1 次,直至果实成熟,其中苹果成熟期还另测定果实的单果质量、果形指数、总灰分、维生素 C 含量、蛋白质含量、还原糖含量、水解后还原糖含量、多酚含量及黄酮含量。每次随机抽取 10 个果实,重复 3 次。

1.2.5 测定方法 分别采用邻苯三酚自氧化法、福林酚法、硝酸铝络合分光光度法测定 SOD 活性、多酚含量、黄酮含量<sup>[10-13]</sup>;分别采用手持糖度折光仪、GY-B 硬度计、游标卡尺、精度为千分之一的电子天平测定果实可溶性固形物含量、硬度、果实纵径和横径、单果质量;分别参照标准《食品中总酸的测定》(GB/T 12456—2008)、《食品中灰分的测定》(GB 5009.4—2016)、《食品中抗坏血酸的测定》(GB 5009.86—2016)、《食品中蛋白质的测定》(GB 5009.5—2010)、《食品中还原糖的测定》(GB 5009.7—2016)、《食品中果糖、葡萄糖、蔗糖、麦芽糖、乳糖的测定》(GB 5009.8—2008)测定总酸(可滴定酸)含量、总灰分、维生素 C 含量、蛋白质含量、还原糖含量及水解后还原糖含量。固酸比为可溶性固形物含量与总酸

含量的比值,果形指数为果实纵径和横径之比。

2 结果与分析

2.1 苹果皮渣酵素发酵单因素试验

2.1.1 苹果皮渣添加量的确定 苹果皮表面含有大量的天然微生物菌群,可为酵素发酵提供酵母菌、醋酸菌等必需的微生物。由图 1 可见,随着苹果皮渣添加量的增加,发酵液中有益微生物数量增加,从而使发酵液中 SOD 活性和总酸含量均呈上升趋势;当苹果皮渣添加量为 100~300 g/L 时,SOD 活性和总酸含量增加相对较快,继续增加苹果皮渣量,SOD 活性和总酸含量上升趋势缓慢,故选择最佳苹果皮渣添加量为 300 g/L。

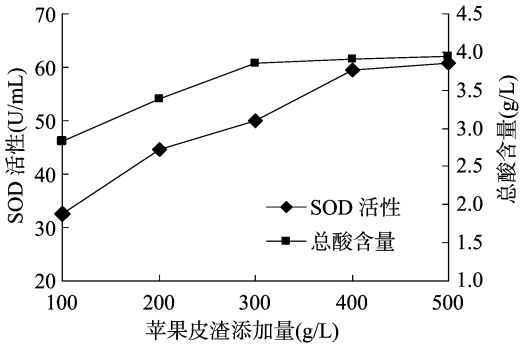


图 1 苹果皮渣添加量对酵素 SOD 活性和总酸含量的影响

2.1.2 红糖添加量的确定 红糖可为发酵液中的有益菌群提供充足的碳源,使有益生物菌群大量繁殖,并产生大量的代谢产物,考察红糖添加量可为微生物的生长代谢确定合适的碳源量。由图 2 可见,当红糖添加量为 90 g/L 时,SOD 活性达到最大值,此时总酸含量为 3.9 g/L,且随红糖添加量的增加,总酸含量变化不大。故选择最佳加糖量为 90 g/L。

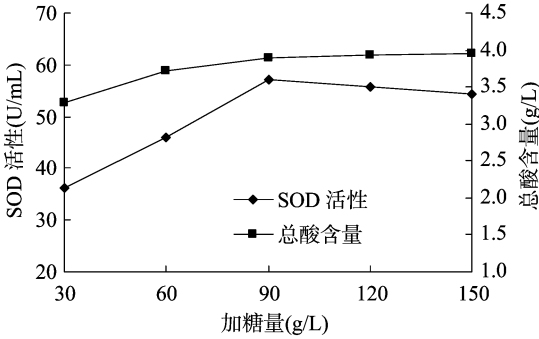


图 2 红糖添加量对酵素 SOD 活性和总酸含量的影响

2.1.3 初始 pH 值的确定 将苹果醋加入到发酵液中,既可以调节发酵液的 pH 值,使其呈弱酸性,有效抑制有害菌群的繁殖,又可以抑制乙醇的产生,有利于耐酸性酶的产生与活性保持,为有益菌群的大量繁殖提供条件<sup>[9]</sup>。由图 3 可见,初始 pH 值对酵素的总酸含量和 SOD 活性有较大影响,初始 pH 值调至 5.0 时,二者达到最大值。故确定最佳初始 pH 值为 5.0。

2.1.4 发酵时间的确定 由图 4 可见,发酵前 120 d 内,由于微生物的大量繁殖代谢,总酸含量和 SOD 活性有明显上升,发酵 150 d 时总酸含量和 SOD 活性达到最大值,之后随着发酵时间的延长,微生物代谢活动逐渐减弱,总酸含量和 SOD

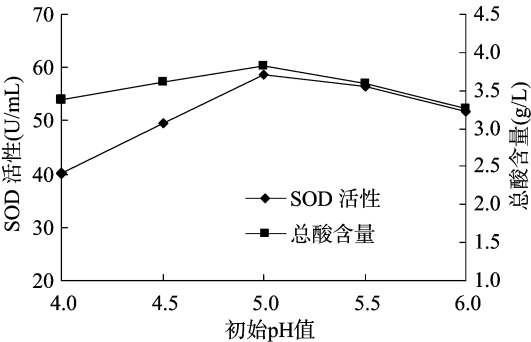


图3 初始 pH 值对酵素 SOD 活性和总酸含量的影响

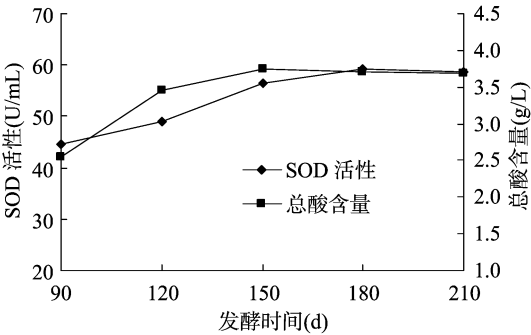


图4 发酵时间对酵素 SOD 活性和总酸含量的影响

表 2 苹果皮渣酵素发酵正交试验结果

试验 编号	因素				总酸含量 (g/L)	SOD 活性 (U/mL)
	A:苹果 皮渣添加 量	B:加糖 量	C:初始 pH 值	D:发酵 时间		
1	1	1	1	1	3.15	44.5
2	1	2	2	2	3.67	58.3
3	1	3	3	3	3.53	54.7
4	2	1	2	3	3.29	47.6
5	2	2	3	1	3.88	64.6
6	2	3	1	2	3.77	58.8
7	3	1	3	2	3.70	55.2
8	3	2	1	3	3.68	62.3
9	3	3	2	1	3.64	57.5
$k_1$	3.45	3.38	3.53	3.56		
$k_2$	3.65	3.74	3.53	3.71		
$k_3$	3.67	3.65	3.70	3.50		
$k_1'$	52.50	49.10	55.20	55.53		
$k_2'$	57.00	61.73	54.47	57.43		
$k_3'$	58.33	57.00	58.17	54.87		
极差 R	0.22	0.36	0.17	0.21		
极差 R'	5.83	12.63	2.97	2.56		

注: $k_1$ 、 $k_2$ 、 $k_3$ 、R 为总酸对应数值; $k_1'$ 、 $k_2'$ 、 $k_3'$ 、R' 为 SOD 活性对应数值。

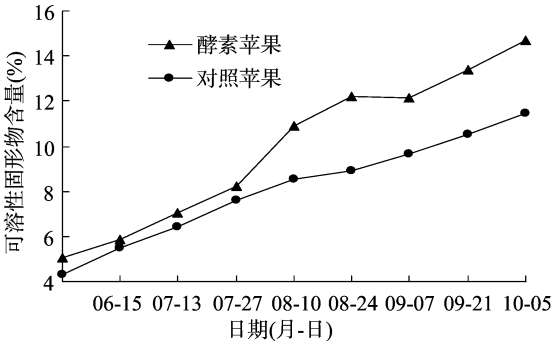


图5 施入酵素与未施入酵素苹果生长过程中果实可溶性固形物含量的变化趋势

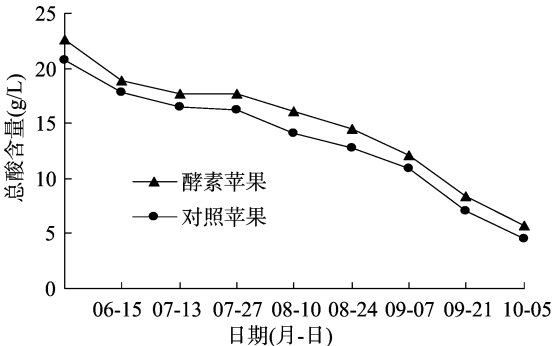


图6 施入酵素与未施入酵素苹果生长过程中果实总酸含量的变化趋势

活性略有下降。因此,选择最适发酵时间为 150 d。

2.2 苹果皮渣酵素发酵正交试验

由表 2 可见,影响苹果皮渣酵素总酸含量的因素主次顺序为  $B > A > D > C$ ,即加糖量对总酸含量有很大影响,是主要控制因素,其次是苹果添加量,最优发酵组合为  $B_2A_3D_2C_3$ ;影响苹果皮渣酵素中 SOD 活性的因素主次顺序为  $B > A > C > D$ ,最优组合也为  $B_2A_3D_2C_3$ 。因此,确定最佳发酵工艺为苹果皮渣添加量 400 g/L、加糖量 90 g/L、初始 pH 值 5.5、发酵时间 150 d。经测定,在优化条件下酵素总酸含量为 3.96 g/L,SOD 活性为 66.2 U/mL。

2.3 苹果皮渣酵素对富士苹果品质的影响

2.3.1 苹果皮渣酵素对富士苹果生长过程中果实品质的影响

2.3.1.1 可溶性固形物 可溶性固形物含量是果实重要的品质性状之一,其含量高低对果实营养价值、风味口感、实质产量等方面有重要影响,并对果实储藏、运输过程中的防冻等有重要影响<sup>[14]</sup>。由图 5 可知,在生长期,施入酵素和未施入酵素(对照)苹果果实的可溶性固形物含量呈明显上升趋势;对照处理的苹果可溶性固形物含量低于酵素处理;生长前期,2 个处理的可溶性固形物含量相差较小,8 月 10 日后 2 个处理的果实可溶性固形物含量差距增加,苹果皮渣酵素的施用明显提高了苹果生长后期的可溶性固形物含量,从而明显改善了苹果的风味及品质。果实中的酸含量也是影响果实品质的重要因素<sup>[14]</sup>。

2.3.1.2 总酸含量 由图 6 可见,在生长期,施入酵素的苹果总酸含量变化趋势与未施入酵素相似,呈逐渐下降趋势,同一时期施入酵素的苹果总酸含量高于对照,说明施入酵素可促进苹果果实中有机酸的积累;6 月 15 日至 7 月 13 日,2 个处理的总酸含量缓慢下降,7 月 27 日后总酸含量下降迅速。

2.3.1.3 糖酸比 苹果的风味品质主要取决于糖酸含量及其配比关系,高糖低酸的果实口感淡薄,低糖高酸的果实口感过酸,都不符合鲜食要求<sup>[15]</sup>。由图 7 可见,施入酵素的苹果与对照苹果相比,固酸比差异不大,仅在 8 月 10 日至 9 月 21 日之间施入酵素的苹果固酸比稍大,至成熟时二者固酸比又

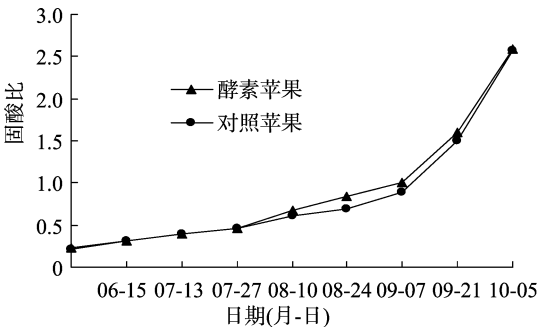


图7 施入酵素与未施入酵素苹果生长过程中果实固酸比的变化趋势

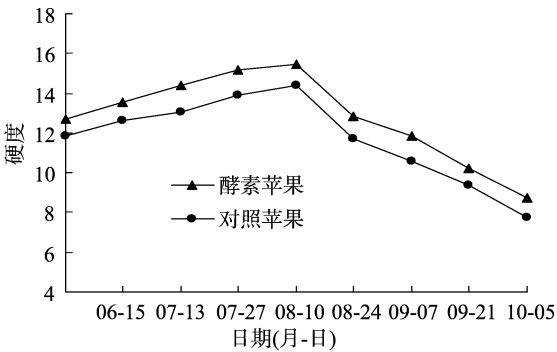


图8 施入酵素与未施入酵素苹果生长过程中果实硬度的变化趋势

几乎相同。

2.3.1.4 果实硬度 由图 8 可见,施入酵素和未施入酵素(对照)的苹果硬度均呈先上升后降低趋势,8 月 10 日二者的硬度达到最大值;生长期,对照苹果的硬度均低于酵素处理的苹果,说明施用酵素可提高苹果果实的硬度,从而进一步延长苹果的货架期。

2.3.2 苹果皮渣酵素对富士苹果成熟果实品质的影响 由表 3 可见,施入酵素的苹果果形指数低于对照处理,相互间差

异不显著( $P>0.05$ );除果形指数外,施入酵素的苹果其他指标均大于对照,其中总灰分、维生素 C 含量、水解后还原糖含量、果皮中多酚含量、果肉中黄酮含量与对照相比差异不显著( $P>0.05$ ),单果质量、去皮硬度、总酸含量、蛋白质含量、果肉中多酚含量、果皮中黄酮含量与对照相比差异显著( $P<0.05$ ),可溶性固形物、还原糖含量与对照相比差异极显著( $P<0.01$ )。

表 3 施入酵素对红富士苹果果实品质的影响

处理	单果质量 (g)	果形 指数	去皮硬度 (kg/cm <sup>2</sup> )	可溶性 固形物 含量(%)	总酸含量 (g/kg)	总灰分 (%)	维生素 C 含量 (mg/g)	蛋白质 含量 (g/kg)	还原糖 含量 (%)	水解后 还原糖 含量(%)	多酚含量 (mg/g)		黄酮含量 (mg/g)	
											果肉	果皮	果肉	果皮
施入酵素	221.7 *	0.84	8.77 *	14.72 **	5.70 *	0.323	3.81	1.70 *	10.52 **	12.62	0.79 *	3.27	0.69	4.43 *
未施入酵素(对照)	201.9	0.88	7.76	11.48	4.47	0.305	3.21	0.83	8.27	11.35	0.63	2.90	0.65	3.28

注:同列数据后标注“\*”“\*\*”分别表示处理间差异显著( $P<0.05$ )、极显著( $P<0.01$ )。

3 结论与讨论

本试验以果脯制作过程中废弃的苹果皮渣为原料,利用苹果本身含有的天然有益微生物制备苹果皮渣酵素,通过单因素和正交试验表明,苹果皮渣酵素的最佳发酵条件为苹果渣添加量 400 g/L、加糖量 90 g/L、初始 pH 值 5.5、发酵时间 150 d,此优化条件下酵素的总酸含量为 3.96 g/L,SOD 活性为 66.2 U/mL。

有研究表明,总酸含量为 2~5 g/kg、含糖量较高(可溶性固形物含量 $\geq 14.5\%$ 或总糖含量 $\geq 12.5\%$ )、固酸比偏低(3.0~3.5)时的果实酸甜适宜,风味品质相对较好,优质率最高<sup>[15]</sup>。本试验结果表明,施入酵素成熟期的苹果总酸含量为 5.7 g/kg、可溶性固形物含量为 14.72%、固酸比为 2.58,说明施用苹果皮渣酵素可以一定程度上提高红富士苹果的风味与品质,提高了苹果的优质率。

将制得的苹果皮渣酵素施用于有机红富士苹果园,考察施入苹果皮渣酵素对红富士苹果果实品质的影响发现,施入酵素的苹果在生长过程中可溶性固形物含量、总酸含量、硬度均高于未施入酵素的苹果(对照),固酸比差别不大;苹果成熟期时,除果形指数外,单果质量、硬度、可溶性固形物含量、总酸含量、总灰分、维生素 C 含量、蛋白质含量、还原糖含量、水解后还原糖含量、多酚含量、黄酮含量等指标均高于对照,这可能是因为利用废弃苹果皮渣制备而成的酵素,一方面其含有的有机酸可以调节土壤 pH 值,丰富的有机物可以提高

土壤有机质含量,进而提高土壤中各种微量元素的有效含量,另一方面,各种有益微生物及发酵后产生的各种酶能够迅速催化分解各种有机物,使之在短时间内转化为可供利用的成分,被果实吸收利用<sup>[3,16-18]</sup>,进一步促进苹果中各种营养和功能成分的积累,果实品质得到提升,也使废弃资源得到有效利用。在今后的研究中,还应对酵素对土壤养分含量的影响及有害病菌的抑制等方面进行深入探索,以更全面地了解酵素在苹果种植过程中的应用效果。

参考文献:

[1]赵芳芳,莫雅雯,蒋增良,等. 功能性微生物酵素产品的研究进展[J]. 食品与发酵工业,2016,42(7):283-287.  
[2]陈倩,刘善江,李亚星. 我国酵素菌技术概况及应用现状[J]. 安徽农业科学,2012,40(23):11612-11615.  
[3]冯蕾,赵运林,彭姣,等. 酵素菌微生物在农业生产中的应用进展[J]. 现代农业科技,2016(1):220-223.  
[4]董银卯,何聪芬,王领. 火龙果酵素生物活性的初步研究[J]. 食品科技,2009,34(3):192-196.  
[5]董洁,夏敏敏,王成忠,等. 金丝小枣枣泥酵素发酵工艺的研究[J]. 食品工业科技,2014,35(2):197-200,205.  
[6]战伟,魏晓宇,高本杰,等. 蓝靛果椰子复合酵素发酵工艺优化[J]. 中国酿造,2017,36(1):191-195.  
[7]杨培青,李斌,颜廷才,等. 蓝莓果渣酵素发酵工艺优化[J]. 食品科学,2016,37(23):205-210.  
[8]贾丰,郭玉蓉,刘冬,等. 发酵对苹果渣多糖加工特性的影响

李德生,何 安,彭 玲,等. 重金属对日本榉木内渗透调节物质的影响[J]. 江苏农业科学,2018,46(1):101-104.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.01.027

# 重金属对日本榉木内渗透调节物质的影响

李德生,何 安,彭 玲,王 硕,王 静

(天津理工大学环境科学与安全工程学院,天津 300381)

**摘要:**采用盆栽试验,对土壤用重金属镉(Cd,0、0.25、1.00、5.00、10.00 mg/kg)、铅(Pb,0、100、500、1 000、1 500 mg/kg)和锌(Zn,0、100、500、1 000、1 500 mg/kg)进行单一和复合污染处理,通过研究重金属对植物体内渗透调节物质的影响来分析重金属胁迫下植物体内的抵抗机制,同时分析重金属 Cd 与 Zn、Pb 与 Zn 之间的相互影响机制。结果表明,在重金属 Cd + Zn、Pb + Zn 复合胁迫下,日本榉木叶片内可溶性蛋白含量随着重金属浓度的增加而降低,而在其他条件下,则是随着重金属浓度的增加呈先增加后减小的趋势;随着重金属胁迫浓度的增加,日本榉木叶片内可溶性糖含量先增加后减小,但在重金属 Zn 的单一胁迫下,可溶性糖含量呈逐渐增加趋势;在重金属浓度较高时,脯氨酸含量均有大量的积累,尤其在 Cd + Zn、Pb + Zn 处理时,脯氨酸含量都比单一胁迫下高。因此,在复合(Cd + Zn、Pb + Zn)胁迫下,重金属 Zn 可能有利于促进日本榉木体内脯氨酸含量的积累;同时也可以说明,日本榉木对重金属的胁迫具有一定的抵抗能力。

**关键词:**日本榉木;重金属;渗透调节物质;复合胁迫;镉(Cd);铅(Pb);锌(Zn)

**中图分类号:**X53 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2018)01-0101-04

土壤重金属污染是一个严重且普遍存在的问题,尤其是重金属对农田和作物的影响日趋严重<sup>[1-2]</sup>。由于重金属具有毒性和不易被生物降解的特性<sup>[3-4]</sup>,一旦土壤被其污染,会长期停留在土壤中并且对生态系统造成严重的威胁,甚至会通过食物链被人体吸收而致病<sup>[1-2,5]</sup>,因此解决土壤重金属污染问题已成为全球性的任务<sup>[6]</sup>。不少学者发现,利用植物来治理重金属污染土壤比物理方法、化学方法更具有经济、生态等效益<sup>[7-8]</sup>,然而重金属会对植物的生长和代谢产生不利影响,甚至会导致植物死亡。因此植物自身对重金属的抵抗能力成为学者研究的热点。

目前,学者们将研究方向主要集中在重金属对植物体内的渗透调节物质<sup>[9]</sup>、抗氧化系统<sup>[10]</sup>的影响方面,但大部分偏向于蔬菜<sup>[11]</sup>、大型木本植物<sup>[12]</sup>的研究,很少针对木本蔬菜的研究。日本榉木是一种重要的木本蔬菜,其根系发达、抗逆性强、容易栽培<sup>[13]</sup>。另外,日本榉木的嫩芽中含有 9 种人体必需的氨基酸和微量元素,含量比人参中的含量高,还具有提高人体免疫力、防治老年性疾病的作用,增强脑功能、延缓衰老等功能,是食用兼药用于一身的植物。因此,研究重金属对日本榉木的影响具有重要的意义,能为日本榉木的安全生产提供参考。

本研究采用盆栽试验法,研究单一(Pb、Cd、Zn)及复合(Cd + Zn、Pb + Zn)重金属胁迫下,日本榉木体内渗透调节物质的变化,分析重金属对植物叶片内可溶性蛋白质、可溶性糖和脯氨酸含量的影响,同时探讨重金属 Pb + Zn、Cd + Zn 之间的相互关系,观察重金属 Zn 的添加是否有利于促进单一重金属胁迫(Pb、Cd)下日本榉木叶片内渗透调节物质的积累。本研究结果能为日本榉木应用于重金属污染土壤修复的研究提供一定的依据。

收稿日期:2016-07-29

基金项目:国家自然科学基金(编号:41303057);天津市科技支撑计划重点项目(编号:12ZCZDNC00400);天津市应用基础与前沿技术研究计划(编号:14JCYBJC23000)。

作者简介:李德生(1964—),男,山东烟台人,博士,教授,主要从事植物生理生态和环境生态学等研究。E-mail:desli@tjut.com。

通信作者:何 安,硕士研究生,主要从事植物生理生态和环境生态学等研究。E-mail:784686256@qq.com。

[J]. 中国农业科学,2016,49(19):3831-3844.

[9]蒋增良.天然微生物酵素发酵机理、代谢过程及生物活性研究[D].杭州:浙江理工大学,2012.

[10]贾丽丽,冀 利,孙曙光,等.冬枣酵素发酵过程中生物学特性和抗氧化活性研究[J].食品与发酵科技,2014,50(4):30-33.

[11]白霞雯,靳志强,王 玺.富士苹果和国光苹果不同部位苹果多酚的提取研究[J].食品研究与开发,2016,37(7):120-123.

[12]董文宾,许先猛.杜仲叶多酚的提取及分离工艺研究[J].陕西科技大学学报(自然科学版),2011,29(1):65-69.

[13]李会端,崔 旭,耿仕香.邵通金帅苹果中总黄酮提取及抗氧化研究[J].楚雄师范学院学报,2015,30(3):26-33.

[14]刁亚娟.酵素菌肥对番茄生长发育及其土壤养分含量的影响[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2008.

[15]江道伟,范崇辉,苏渤海,等.套袋红富士苹果成熟期果实品质的影响[J].北方园艺,2011(16):23-25.

[16]王宝申,刘秀春,孙立群,等.生物有机肥在果树上的施用效果试验[J].广东农业科学,2007(9):49,58.

[17]文亚雄,谭石勇.酵素菌技术及我国酵素菌肥料应用现状[J].湖南农业科学,2016(1):112-114.

[18]张 强,魏钦平,刘惠平,等.苹果园土壤养分与果实品质关系的多元分析及优化方案[J].中国农业科学,2011,44(8):1654-1661.