

对羟基苯甲酸酯类对杏果采后病害的控制

潘静宇, 李永才*, 毕 阳, 唐 瑛, 王 迪

(甘肃农业大学食品科学与工程学院, 甘肃 兰州 730070)

摘 要: 通过离体和体内实验研究对羟基苯甲酸酯类处理对杏果采后黑斑病和软腐病的控制。离体实验结果表明, 对羟基苯甲酸酯类对互隔交链孢 (*Alternaria alternata*) 和匍枝根霉 (*Rhizopus stolonifer*) 菌丝生长具有一定的抑制作用, 其中对羟基苯甲酸乙酯和对羟基苯甲酸丁酯抑制效果较好, 并随着处理剂量的增加抑制效果显著增加, 100 $\mu\text{L/L}$ 对羟基苯甲酸丁酯对 *A. alternata* 和 *R. stolonifer* 菌落生长的抑制效果佳, 其对菌落直径的抑菌率分别达到了 23.70% 和 62.48%, 同时发现对羟基苯甲酸酯类对 *R. stolonifer* 的抑制作用较强。体内实验结果表明, 对羟基苯甲酸酯类能有效地控制损伤接种的杏果黑斑病和软腐病的扩展, 对软腐病的控制效果较好。其中 240 $\mu\text{L/L}$ 的对羟基苯甲酸乙酯对杏果黑斑病和软腐病的抑制效果最佳。进一步通过正交试验确定了对羟基苯甲酸酯类与热水复合对杏果的最佳防腐处理条件为 32 $\mu\text{L/L}$ 的对羟基苯甲酸丙酯, 在 50 $^{\circ}\text{C}$ 热水中浸泡 7 min, 该复合对采后杏果的病害控制效果最佳, 验证实验表明, 其对黑斑病和软腐病的抑菌率分别达到了 32.22% 和 51.84%。

关键词: 对羟基苯甲酸酯类; 杏果; 互隔交链孢; 匍枝根霉; 病害控制

Effect of *p*-Hydroxybenzoic Acid Esters on Controlling Postharvest Diseases of Apricot Fruits

PAN Jing-yu, LI Yong-cai*, BI Yang, TANG Ying, WANG Di

(College of Food Science and Engineering, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China)

Abstract: Effect of *p*-hydroxybenzoic acid esters on black spot and soft rot diseases of postharvest apricot fruits was studied using *in vitro* and *in vivo* tests. The results of *in vitro* test showed that *p*-hydroxybenzoic acid esters significantly inhibited the colony growth of *Rhizopus stolonifer* and *Alternaria alternata*. Ethyl 4-hydroxy benzoate and butyl paraben had better effect in a concentration-dependent manner. Butyl paraben, when use at a dose of 100 $\mu\text{L/L}$, was more effective against the two pathogens with antifungal rates of 23.70% and 62.48%, respectively. The inhibitory effect of *p*-hydroxybenzoic acid esters on *Rhizopus stolonifer* was better. *In vivo* test showed that *p*-hydroxybenzoic acid esters could effectively control black spot and soft rot diseases of apricot fruits inoculated with *R. stolonifer* and *A. alternata*. *p*-Hydroxyl benzoate was more effective against soft rot disease, and the development of black spot disease was significantly reduced by ethyl 4-hydroxybenzoate treatment at a dose of 240 $\mu\text{L/L}$. The optimum treatment conditions for postharvest disease control of apricot fruits were determined through orthogonal array design as 32 $\mu\text{L/L}$ propyl *p*-hydroxyl benzoate combined with soaking in 50 $^{\circ}\text{C}$ water for 7 min. Verification results showed that the inhibition rates of the optimal treatment against black spot and soft rot disease reached 32.22% and 51.84%, respectively.

Key words: *p*-hydroxyl benzoate; apricot fruit; *Alternaria alternata*; *Rhizopus stolonifer*; disease control

中图分类号: TS201.3

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630 (2014) 18-0262-05

doi:10.7506/spkx1002-6630-201418050

杏 (*Armeniaca vulgaris*) 属蔷薇科 (Rosaceae) 乔木。兰州大接杏是甘肃地方优良品种, 该品种适应性强, 风味浓甜, 属中熟鲜食品种, 年产量约 5~6 万 t。杏具有良好的加工性能^[1], 其果味道鲜美、酸甜可口, 营养价值高。但杏果皮薄, 易受机械损伤, 且杏果属于呼吸跃变型果实, 常温条件下贮藏时间很短, 贮藏后期腐烂严重, 其采后病害主要有黑

斑病、软腐病、菌核病、褐腐病等^[2]。其中以匍枝根霉 (*R. stolonifer*) 引起的软腐病和互隔交链孢 (*A. alternata*) 引起的黑斑病尤为严重, 造成了很大的经济损失, 目前多用人工合成杀菌剂控制病害, 这不但会产生农药残留、污染环境, 而且会使病原物产生抗病性, 因此寻求安全、低毒、高效的杏果采后病害防腐剂已势在必行。

收稿日期: 2014-01-19

作者简介: 潘静宇 (1992—), 女, 硕士研究生, 研究方向为生防菌对采后果蔬的抗病机理。E-mail: 13993109268@163.com

*通信作者: 李永才 (1972—), 男, 副教授, 博士, 研究方向为果蔬采后生物学与技术。E-mail: liyongcai@gsau.edu.cn

对羟基苯甲酸酯亦称尼泊金酯,具有高效、低毒、广谱、易配伍的优点,已被广泛运用于食品、饮料、化妆品、医药等许多方面^[3],我国2002年正式批准对羟基苯甲酸乙酯、丙酯为食品添加剂^[4]。对羟基苯甲酸酯类除对真菌有效外,由于其具有酚羟基结构,所以抗菌性能比苯甲酸、山梨酸都强。目前,果蔬采后疾病的控制方法主要包括生物防治、物理方法如加热和辐射等,化学方法如添加毒性低、使用安全的食品添加剂等^[5-6],例如通过使用合成杀菌剂如抑霉唑、噻苯咪唑等^[7],但这种方法会带来潜在的健康危害和环境污染等问题。有研究表明对羟基苯甲酸钠盐在草莓、柑橘等果蔬采后病害控制中表现出显著地作用^[8-9],Moscoso-Ramirez等^[10]发现对羟基苯甲酸钠盐能有效的控制采后柑橘的青霉病和绿霉病,通过改变处理条件,诸如湿度、温度、处理时间、复合处理等,发现相对一般杀菌剂有更好的防腐效果^[11]。但目前对羟基苯甲酸酯在杏果采后病害控制中未见报道。

本实验以杏果为试材,通过体外及体内实验研究对羟基苯甲酸酯类对杏果采后主要致病菌*A. alternata*和*R. stolonifer*的抑制作用和对黑斑病及软腐病的控制效果,并通过正交试验确定了其最佳的防腐处理条件,以期对杏果采后病害控制提供理论依据和技术指导。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

供试杏果:兰州大接杏2013年7月购于兰州市安宁区桃海市场,剔除病果伤果,选择大小、果色均匀且成熟度一致的果实,分组并立即进行实验;供试菌株为*Rhizopus stolonifer*和*Alternaria alternata*。

对羟基苯甲酸酯类(甲酯、乙酯、丙酯、丁酯)上海中泰化学试剂有限公司。

1.2 仪器与设备

SW-CJ-2FD超净工作台 苏净集团苏州安泰空气技术有限公司;LDZX-30KBS立式压力蒸汽灭菌锅 上海申安医疗器械厂;DHP-9272B型恒温培养箱 上海一恒科技有限公司;CX21FS1C生物显微镜 奥林巴斯(广州)工业有限公司;VXH-3微型漩涡混合器 上海跃进医疗器械厂。

1.3 方法

1.3.1 培养基制作

参照方中达^[12]方法进行。培养基(PDA)配方为:马铃薯200 g、蔗糖20 g、琼脂17~20 g、蒸馏水1 000 mL。将200 g马铃薯削皮后切成1 cm³体积的小块,加水煮沸30 min后4层纱布过滤并定容至1 000 mL,然后将一定量琼脂和蔗糖分别与马铃薯过滤液混合,分装在三角瓶中进行高压灭菌,制备PDA平板。

1.3.2 病原菌分离、纯化与鉴定

参照李永才^[13]的方法进行。采集软腐病和黑斑病病果,用75%酒精表面消毒,再用无菌水冲洗后切取病健交界组织,在无菌操作条件下移至PDA培养基上,于28℃保温培养,待长出分生孢子之后进行分离、纯化,分离纯化后的菌种要经过侵染回接实验才能认定其致病性。将各分离纯化后的菌株回接到杏果上,如果发病症状与贮藏时出现的病症相符合,方可作为采后病害病原菌进一步鉴定到属种,鉴定后在PDA培养基上保存备用。

1.3.3 离体抑菌实验

参照范青等^[14]的方法进行并作修改。分别取15 mL含有20、40、60、80、100 μL 5%对羟基苯甲酸甲酯醇溶液、对羟基苯甲酸乙酯醇溶液、对羟基苯甲酸丙酯醇溶液、对羟基苯甲酸丁酯醇溶液的PDA培养基(以每1 L计),将其均匀平铺在直径为8 cm的培养皿中,以不加药物的PDA为对照,待平板冷却后分别将纯化的*R. stolonifer*菌饼和*A. alternata*菌饼(直径8 mm)接于培养皿中央,28℃条件下避光培养。当对照培养皿中的菌斑长满培养皿时,测定各处理菌落直径,上述实验重复3次。并参照吴慧昊等^[15]方法计算其抑菌率。

$$\text{抑菌率}\% = \frac{\text{对照菌落直径} - \text{处理菌落直径}}{\text{对照菌落直径} - \text{菌饼直径}} \times 100$$

1.3.4 孢子悬浮液的配制

参照刘红霞等^[16]的方法并修改,在进行分离、纯化、鉴定后培养7 d的*A. alternata*和*R. stolonifer*中各倒入少量无菌水,加入少量0.01% Tween-80,用灭过菌的涂布棒轻刮,并通过4层纱布过滤到三角瓶中,用无菌水稀释,在混合器上振荡15 s,用血球计数板计数,将其配制成10⁵ CFU/mL孢子悬浮液。

1.3.5 对羟基苯甲酸酯类对损伤接种杏果病害扩展的控制

参照Moscoso-Ramirez等^[10,17]的方法,在初步剂量筛选的基础上,选择大小、果色均匀一致、无伤病的果实用2%次氯酸钠溶液浸泡2 min,清水冲洗,晾干,用70%酒精进行消毒,然后用灭菌铁钉(直径3 mm)在果实赤道部位均匀刺3 mm×3 mm孔2个,每孔中注入两种上述孢子悬浮液10 μL,接种2 h后在刺孔中各接入等量剂量为0、48、96、144、192、240 μL/L已配制好的对羟基苯甲酸酯类溶液。晾干后用保鲜袋包装在25~35℃条件下贮藏,7 d后用十字交叉法测定病斑直径,实验重复3次。

1.3.6 正交试验设计

参照李永才等^[18]的方法进行试验设计,选择合适的对羟基苯甲酸酯类、适当的药品剂量,在设定好的热水温度中浸泡一定的时间,选用L₉(3⁴)正交试验设计(表1),在杏果上进行试验,参照1.3.5节方法进行处理及结果分析。

表 1 正交试验因素与水平设计表
Table 1 Factors and levels for orthogonal array design

水平	因素			
	A 药品剂量/ (μL/L)	B 药品种类	C 热浸泡时间/min	D 热处理温度/℃
1	16	对羟基苯甲酸乙酯	5	40
2	32	对羟基苯甲酸丙酯	7	45
3	64	对羟基苯甲酸丁酯	9	50

1.4 数据处理

病斑直径的实验数据用Excel 2003软件进行处理,并用SPSS 19.0进行最小显著差数法比较差异显著性 ($P=0.05$) 及正交试验结果,用Duncans'多重差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 对羟基苯甲酸酯类对*A. alternata*和*R. stolonifer*菌落生长的影响

表 2 对羟基苯甲酸酯类对*A. alternata*和*R. stolonifer*菌落生长 (直径) 的影响

Table 2 Effect of *p*-hydroxybenzoic acid esters on mycelium growth of *A. alternata* and *R. stolonifer*

剂量/ (μL/L)	对羟基苯甲酸甲酯		对羟基苯甲酸乙酯		对羟基苯甲酸丙酯		对羟基苯甲酸丁酯	
	<i>A. alternata</i>	<i>R. stolonifer</i>	<i>A. alternata</i>	<i>R. stolonifer</i>	<i>A. alternata</i>	<i>R. stolonifer</i>	<i>A. alternata</i>	<i>R. stolonifer</i>
0	47.50±1.87 ^a	23.25±1.51 ^a	47.50±1.87 ^a	23.25±1.51 ^a	47.50±1.87 ^a	23.25±1.51 ^a	47.50±1.87 ^a	23.25±1.51 ^a
20	46.17±2.04 ^a	20.17±1.37 ^a	46.50±2.07 ^a	18.20±1.57 ^a	46.17±1.17 ^a	16.80±1.63 ^b	40.50±1.52 ^b	15.00±1.64 ^b
40	44.42±1.86 ^{ab}	15.92±2.65 ^c	42.00±2.00 ^b	15.30±1.94 ^c	43.67±1.21 ^b	13.60±2.73 ^c	39.08±1.69 ^b	13.30±2.14 ^b
60	42.17±1.17 ^b	14.17±3.31 ^{cd}	38.17±1.94 ^c	12.70±2.16 ^d	40.25±1.54 ^c	11.20±1.44 ^d	36.25±3.19 ^c	11.10±1.36 ^c
80	36.50±4.51 ^c	13.58±2.84 ^{cd}	37.50±1.64 ^c	11.30±1.63 ^{de}	39.00±2.37 ^c	10.40±1.02 ^d	35.50±1.05 ^c	10.30±1.17 ^c
100	35.25±3.66 ^c	11.92±2.50 ^d	34.33±2.16 ^d	10.40±1.74 ^e	36.58±2.01 ^d	9.80±1.33 ^d	30.00±0.63 ^d	9.40±1.80 ^d

注: 同列肩标不同字母表示同种药品在不同剂量间的差异 ($P < 0.05$)。下同。

由表2可知, 对羟基苯甲酸酯类处理可有效地抑制*A. alternata*和*R. stolonifer*菌落生长, 经过各处理后菌落直径均低于对照值。不同药品的抑制效果均随着处理剂量的提高而提高。不同药品的抑菌效果也有所差异, 相比而言, 对羟基苯甲酸乙酯和对羟基苯甲酸丁酯对病原物的抑制效果较好, 而对羟基苯甲酸甲酯的抑制效果最差, 尤其在较低剂量时 ($\leq 40 \mu\text{L/L}$) 对*A. alternata*的抑制效果与对照差异不显著。其中100 $\mu\text{L/L}$ 的对羟基苯甲酸丁酯处理后抑菌效果较佳, 对*A. alternata*和*R. stolonifer*菌落直径生长的抑菌率分别为23.70%和62.48%, 菌落均值较对照组分别降低了36.84%和59.60%, 由此可知对羟基苯甲酸丁酯对*R. stolonifer*的抑制效果明显优于*A. alternata*, 并且达到了显著的抑菌效果 ($P < 0.05$)。

2.2 对羟基苯甲酸酯类处理对损伤接种的杏果黑斑病和软腐病的控制

对羟基苯甲酸酯类处理可显著抑制损伤接种的杏果实黑斑病和软腐病的病斑扩展 (表3)。不同种类的药品对损伤接种杏果黑斑病和软腐病的扩展的抑制作用存在

差异, 比较所得病斑均值, 总体上发现对羟基苯甲酸丁酯和对羟基苯甲酸乙酯的控制效果较好, 其处理后病斑直径较对照组分别降低了46.63%和43.24%。而对羟基苯甲酸甲酯的抑制效果较差。同时杏果实病斑扩展程度均随着不同药品剂量的增大而减小。240 $\mu\text{L/L}$ 的对羟基苯甲酸丁酯对黑斑病和软腐病病斑的抑制效果最佳, 其病斑直径较对照组分别降低了45.48%和68.76%, 与对照组相比差异显著 ($P < 0.05$)。但对羟基苯甲酸酯类处理对黑斑病和软腐病扩展的控制效果差异不显著。

表 3 对羟基苯甲酸酯类对杏果黑斑病和软腐病的控制效果

Table 3 Effect of *p*-hydroxybenzoic acid ester on black spot and soft rot diseases of apricot fruits

剂量/ (μL/L)	对羟基苯甲酸甲酯		对羟基苯甲酸乙酯		对羟基苯甲酸丙酯		对羟基苯甲酸丁酯	
	<i>A. alternata</i>	<i>R. stolonifer</i>	<i>A. alternata</i>	<i>R. stolonifer</i>	<i>A. alternata</i>	<i>R. stolonifer</i>	<i>A. alternata</i>	<i>R. stolonifer</i>
0	8.75±1.41 ^a	4.81±0.14 ^a	8.75±1.41 ^a	4.81±0.14 ^a	8.75±1.41 ^a	4.81±0.14 ^a	8.75±1.41 ^a	4.81±0.14 ^a
48	6.58±1.63 ^a	4.47±0.36 ^{ab}	7.75±0.76 ^{ab}	4.53±0.37 ^a	7.33±0.98 ^{ab}	4.15±0.24 ^b	6.92±1.20 ^b	3.82±0.21 ^b
96	6.00±1.14 ^{ac}	4.00±0.29 ^{bc}	6.75±0.94 ^{ac}	4.13±0.33 ^b	6.58±1.91 ^{bc}	3.93±0.12 ^{bc}	6.50±1.00 ^{bc}	3.43±0.41 ^c
144	5.08±1.39 ^b	3.92±0.17 ^{bc}	6.33±0.88 ^c	4.03±0.23 ^{bc}	6.08±0.97 ^{cd}	3.85±0.14 ^c	6.08±1.16 ^{cd}	3.32±0.37 ^c
192	4.92±0.80 ^c	3.68±1.04 ^c	5.83±0.68 ^c	3.77±0.19 ^{cd}	5.17±0.82 ^{cd}	3.73±0.20 ^{cd}	5.50±0.89 ^{cd}	2.95±0.19 ^d
240	4.50±0.45 ^c	3.45±0.29 ^c	5.08±1.20 ^d	3.50±0.28 ^d	4.83±0.82 ^d	3.55±0.27 ^d	4.67±0.75 ^d	2.73±0.20 ^d

2.3 对羟基苯甲酸酯类与热水复合处理控制杏果采后病害的条件正交试验优化

表 4 正交试验设计及结果

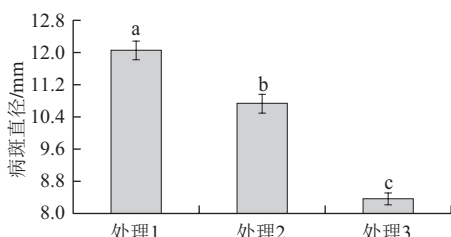
Table 4 Orthogonal array design and results

试验号	A 药品剂量/ (μL/L)	B 药品种类	C 热浸泡时间/min	D 热处理温度/℃	病斑直径/mm
1	1 (16)	1 (对羟基苯甲酸乙酯)	1 (5)	1 (40)	9.56
2	1	2 (对羟基苯甲酸丙酯)	2 (7)	2 (45)	8.44
3	1	3 (对羟基苯甲酸丁酯)	3 (9)	3 (50)	8.93
4	2 (32)	1	2	3	8.64
5	2	2	3	1	8.97
6	2	3	1	2	9.04
7	3 (64)	1	3	2	9.97
8	3	2	1	3	9.67
9	3	3	2	1	9.65
k_1	8.98	9.39	9.42	9.39	
k_2	8.88	9.03	8.91	9.15	
k_3	9.76	9.21	9.29	9.08	
R	0.88	0.36	0.51	0.31	
因素的主次关系				$A > C > B > D$	
优水平				$A_2C_3B_2D_3$	

由表4可见, 因素的主次关系为 $A > C > B > D$, 即影响病害程度的主次因素为: 药品剂量>热浸泡时间>药品种类>热处理温度; 最优配方为 $A_2C_3B_2D_3$, 即选用32 $\mu\text{L/L}$ 的对羟基苯甲酸丙酯, 在50 $^{\circ}\text{C}$ 的热溶液中浸泡7 min, 此时对采后杏果的病害控制效果最佳。进行差异性检验可知, 药品剂量对试验结果的影响显著 ($P < 0.05$), 其他因素的影响不显著。

因表中处理2与最优水平不一致, 进一步通过验证实验对优水平进行检验, 结果表明最优水平对黑斑病和软

腐病的抑菌率分别达到了32.22%和51.84%，较处理2的抑制效果更显著，表明复合处理的抑菌效果显著优于对照组及单独处理（图1）。



处理1：清水对照；处理2：无水乙醇对照；处理3：32 $\mu\text{L/L}$ 对羟基苯甲酸丙酯处理，在50 $^{\circ}\text{C}$ 热水中浸泡7 min。
不同小写字母表示差异显著（ $P < 0.05$ ）。

图1 最优条件下复合处理对杏果病斑直径的影响

Fig.1 Effect of combinational treatment under optimal conditions on lesion diameter in apricot fruits

3 讨论

本实验发现对羟基苯甲酸酯类处理对*A. alternata*和*R. stolonifer*菌丝生长具有显著的抑制效果，总的来看存在碳链越长、处理剂量越高，对病原物生长的抑制作用越强的趋势，100 $\mu\text{L/L}$ 剂量的各酯类对*A. alternata*和*R. stolonifer*菌落生长均表现出良好的抑制作用，这与前人研究发现对羟基苯甲酸酯钠能有效抑制*B. cinerea*^[8]、*P. expansum*和*P. digitatum*^[10,17]孢子萌发和菌丝生长的结果相一致。对羟基苯甲酸酯类的抑菌作用与苯酚类似，可破坏微生物的细胞膜，使细胞内蛋白质变性，并抑制微生物细胞的呼吸酶系与电子传递酶系的活性^[19-20]。但其在水中溶解度差，其溶解度随酯基碳链长度的增加而下降（如甲酯为0.25 g/100 mL，庚酯仅1.5 mg/100 mL），抗菌效果则与分子中醇链长度呈正比，毒性与醇链长度呈反比。对羟基苯甲酸酯类常用的抑菌浓度为0.05%，为了更好地发挥防腐作用，一般都是将不同的酯类混合使用^[21-22]，也可与苯甲酸等混合使用，取其协同作用。近些年来，又开发了多种催化剂，使尼泊金酯的收率和品质都大有提高^[23]。

Moscoso-Ramirez等^[10,17]发现采用25 $\mu\text{L/L}$ 的药品剂量进行浸泡处理，并控制处理温度、湿度，采用复合处理实验不同时间后可观察到其对病原物显著的防腐作用，这与本实验结果基本一致。通过预实验及正交试验，结果表明对羟基苯甲酸酯类对黑斑病和软腐病具有良好的控制效果，同时发现提高药物处理温度可有效降低药物的处理剂量。可见对羟基苯甲酸酯类在采后病害控制中具有潜在的应用前景^[24-25]。

世界上许多国家和地区允许对羟基苯甲酸酯钠应

用于食品，对羟基苯甲酸酯类在食品领域中的使用历史已超过50 a，美国药品监督局和欧盟早在30多年前就已批准对羟基苯甲酸甲酯和对羟基苯甲酸乙酯可在食品中应用，总体剂量在450~2 000 $\mu\text{L/L}$ 之间。联合国粮农组织和世界卫生组织下的食品添加剂联合专家委员会规定对羟基苯甲酸酯类的每日推荐摄入量为0~10 mg/（kg·d），我国于2002年3月批准对羟基苯甲酸甲酯钠、对羟基苯甲酸乙酯钠和对羟基苯甲酸丙酯钠作为食品防腐剂^[26]，GB 2760—2007《食品添加剂使用卫生标准》中规定对羟基苯甲酸酯类的最高使用剂量可达到0.5 g/kg。有研究表明对羟基苯甲酸酯通过肠道和皮肤迅速被吸收，经体液循环被体内酶水解后，代谢为水溶性较好的对羟基苯甲酸，最终随尿液快速排出体外。但仍然有部分药品会与其他物质结合形成复合物而不能被人体完全吸收排出，可能会引起毒理学反应等不良后果。虽然对羟基苯甲酸酯类等安全、低毒的化学防腐剂用来代替或部分代替化学药物控制果蔬的采后病害^[27]，改善人类面临的药物的安全性与生态平衡两大难题具有重要应用前景，但是对其作用机理及采后规范化的应用技术尚需进一步研究。

4 结论

4.1 100 $\mu\text{L/L}$ 的对羟基苯甲酸酯类处理对*A. alternata*和*R. stolonifer*菌落生长均表现出良好的抑制作用，其中乙酯和丁酯的抑菌效果相对较好，抑菌率均值分别为34.07%和84.43%。

4.2 对羟基苯甲酸酯类的剂量为240 $\mu\text{L/L}$ 时，对杏子黑斑病和软腐病病斑扩展抑制效果最佳，其中对羟基苯甲酸丁酯的处理效果最为明显。

4.3 由正交结果可知，影响病害程度的主次因素为：药品剂量>热处理时间>药品种类>热处理温度；最优配方为 $A_2C_2B_2D_3$ ，即选用32 $\mu\text{L/L}$ 的对羟基苯甲酸丙酯，在50 $^{\circ}\text{C}$ 条件下热处理7 min。药品剂量对实验结果的影响显著（ $P < 0.05$ ），其他因素的影响不显著。通过验证实验得到一致的结果，表明复合处理的防控效果显著优于对照组及单独处理。

参考文献：

- [1] 邢军, 杨洁, 郑力. 新疆杏子分布及贮藏保鲜的可行性分析研究[J]. 新疆大学学报: 自然科学版, 2005, 22(1): 79-82.
- [2] 饶景萍, 毕阳, 马惠玲, 等. 园艺产品贮运学[M]. 北京: 科学出版社, 2009: 59-61.
- [3] 陈国安, 杨凯, 彭昌亚, 等. 新型食品防腐剂: 尼泊金酯[J]. 中国调味品, 2003, 28(3): 31-36.
- [4] 王竹天, 宋凤英, 高鹤娟. 食品中对羟基苯甲酸乙酯、丙酯含量分析方法[J]. 中国食品卫生杂志, 1989, 1(2): 27-29.

- [5] PALOU L, USALL J, SMILANICK J L, et al. Evaluation of food additives and low-toxicity compounds as alternative chemicals for the control of *Penicillium digitatum* and *Penicillium italicum* on citrus fruit[J]. Pest Management Science, 2002, 58: 459-466.
- [6] PALOU L, SMILANICK J L, DROBY S. Alternatives to conventional fungicides for the control of citrus postharvest green and blue moulds[J]. Stewart Postharvest Review, 2008, 2: 1-16.
- [7] PALOU L, USALL J, MUNOZ J A, et al. Hot water, sodium carbonate, and sodium bicarbonate for the control of postharvest green and blue molds of clementine mandarins[J]. Postharvest Biology and Technology, 2002, 24: 93-96.
- [8] YILDIRIM I, YAPICI B M. Inhibition of conidia germination and mycelial growth of *Botrytis cinerea* by some alternative chemicals[J]. Pakistan Journal Biology Science, 2007, 10: 1294-1300.
- [9] VALENCIA-CHAMORRO S A, PÉREZ-GAGO M B, DELRÍO M A, et al. Curative and preventive activity of hydroxypropyl methylcellulose-lipid edible composite coatings containing antifungal food additives to control citrus postharvest green and blue molds[J]. International Journal of Food Agriculture Food and Environment, 2009, 57: 2770-2777.
- [10] MOSCOSO-RAMIREZ P A, MONTESINOS-HERRERO C, PALOU L. Characterization of postharvest treatments with sodium methylparaben to control citrus green and blue molds[J]. Postharvest Biology and Technology, 2013, 77: 128-137.
- [11] 励建荣, 朱丹实. 果蔬保鲜新技术研究进展[J]. 食品与生物技术学报, 2012, 31(4): 338-347.
- [12] 方中达. 植病研究方法[M]. 3版. 北京: 中国农业出版社, 1998: 25-27.
- [13] 李永才. 碳酸盐和碳酸氢盐对鸭梨采后黑斑病和青霉病的控制研究[J]. 食品科技, 2007, 32(1): 185-188.
- [14] 范青, 田世平. 枯草芽孢杆菌(B-912)对桃和油桃的褐腐病的抑制效果[J]. 植物学报, 2002, 42(11): 1137-1143.
- [15] 吴慧昊, 王军节. 花椒提取物对苹果梨采后黑斑病的抑制[J]. 西北民族大学学报: 自然科学版, 2009, 30(1): 74-77.
- [16] 刘红霞, 毕阳, 郭玉蓉, 等. 采后浸泡或真空渗透钙、钡、镁对金矮生苹果青霉病的影响[J]. 甘肃农业大学学报, 1998, 33(4): 404-408.
- [17] MOSCOSO-RAMIREZ P A, MONTESINOS-HERRERO C, PALOU L. Control of citrus postharvest *Penicillium* molds with sodium ethylparaben[J]. Crop Protection, 2013, 46: 44-51.
- [18] 李永才, 毕阳. 热处理结合-氨基丁酸对苹果采后青霉病的控制[J]. 食品科学, 2011, 32(6): 265-269.
- [19] 林日高, 林捷, 周爱梅, 等. 对羟基苯甲酸酯类钠盐的抑菌作用及其稳定性研究[J]. 中国食品添加剂, 2002(3): 19-24.
- [20] 石立三, 吴清平, 吴慧清, 等. 我国食品防腐剂应用状况及未来发展趋势[J]. 食品研究与开发, 2008, 29(3): 157-161.
- [21] 徐芳. 浅析食品防腐剂[J]. 畜牧与饲料科学, 2009, 30(2): 77-79.
- [22] 陈建文, 厉华明, 周荣荣. 食品中对羟基苯甲酸酯类的应用现状和检测方法[J]. 中国酿造, 2008, 26(8): 4-5.
- [23] 俞善信, 文瑞明, 熊文高. 对羟基苯甲酸酯合成研究进展[J]. 精细石油化工进展, 2002, 3(1): 42-45.
- [24] 李永才, 毕阳. 钼酸铵和焦亚硫酸钠对采后苹果青霉病和黑斑病的控制[J]. 食品科技, 2008, 33(12): 238-241.
- [25] 彭晓春, 杨仁, 郭正元, 等. 咪鲜安的残留毒理研究现状[J]. 世界农药, 2000, 28(2): 52-55.
- [26] 严兵, 章亚峰, 梁子军, 等. 对羟基苯甲酸在有机合成中的应用[J]. 精细化工原料及中间体, 2010(12): 42-43.
- [27] 郭玉蓉, 葛永宏, 毕阳, 等. 采后硅酸钠处理对苹果梨黑斑病的影响[J]. 食品科学, 2003, 24(12): 140-142.

《中国油脂》(月刊)

国内邮发代号52-129 国外发行代号 M5889

追踪学科发展动态 报道行业新成果 关注油脂发展热点 共谋油脂创新未来

主要栏目: 油脂加工/油料蛋白/油脂化学/油脂储藏/油脂营养/新油源/特种油脂/油脂化工/生物柴油/综合利用/实用技术/检测分析/标准规范/食品安全/节能减排/环境保护/纵横信息/特色专栏/产品广告等。

发行对象: 从事油脂及相关行业规划、决策、咨询、研究、开发、生产、检测、工程服务、项目管理、工厂管理、设备运行、维修等组织和个人。

各地邮局均可订阅 我社常年办理邮购及逾期补订

大16开本 每本10元 全年120元

■ 邮局订阅: 邮发代号52-129

■ 邮局汇款: 710082 西安市劳动路118号 《中国油脂》杂志社

■ 银行转账: 开户单位: 西安中粮工程研究设计院有限公司

账号: 3700021709088100275

开户行: 工行陕西省分行营业部西安西关支行

地址: 陕西省西安市劳动路118号

邮编: 710082

电话: 029-88653157/888621360

传真: 029-88625310

E-mail: zyzoil@163.com <http://www.chinaoils.cn>