

文章编号: 1673-1689(2011)05-0668-07

天然抗氧化剂对香菇菌汤中油脂的抗氧化作用

王英, 朱科学*, 彭伟, 周惠明

(江南大学食品学院, 江苏无锡 214122)

摘要: 对茶多酚、番茄红素、维生素 E、迷迭香水溶性提取物和鼠尾草酸等几种天然抗氧化剂, 在 O/W 型香菇菌汤中对油脂的抗氧化作用规律进行了研究。主要对油脂的一级氧化产物(氢过氧化物)和二级氧化产物(丙二醛)的含量进行了测定。结果表明: 番茄红素、维生素 E 和鼠尾草酸对抑制菌汤中油脂的一级氧化均无明显效果, 其中维生素 E 具有较强的促进一级氧化产物的生成作用。在菌汤中油脂二级氧化上, 三者均能有效抑制氢过氧化物分解成小分子醛酮酸。而茶多酚、迷迭香水溶性提取物则没有抑制或促进菌汤中油脂的一级氧化和二级氧化。从结果来看, 在香菇菌汤体系中, 番茄红素、维生素 E 和鼠尾草酸比茶多酚、迷迭香水溶性提取物具有更好的抗油脂氧化效果。

关键词: 天然抗氧化剂; 香菇菌汤; 抗氧化; 乳状液

中图分类号: TS 201.1

文献标识码: A

Studies on the Antioxidative Effects of Natural Antioxidants on the Lipid in Shiitake Soup

WANG Ying, ZHU Ke-xue*, PENG Wei, ZHOU Hui-ming

(School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

Abstract: The antioxidative effects of several natural antioxidants were studied on the lipid in the O/W shiitake soup, such as tea polyphenol, lycopene, vitamin E, rosemary water-soluble extracts and carnosic acid respectively. The peroxide value and thiobarbituric acid reactive substances were determined. The results indicated that lycopene, vitamin E and carnosic acid do not inhibit the production of the hydroperoxides. Particularly, vitamin E significantly promoted the production of the hydroperoxides. They can inhibit the decomposition of hydroperoxides into aldehydes, ketones and so on, while tea polyphenols and rosemary water-soluble extracts cannot inhibit or promote oxidation, including the primary and secondary oxidation of lipid. The present results had shown that lycopene, vitamin E and carnosic acid were more effective than tea polyphenols and rosemary water-soluble extracts on the antioxidation of lipid in the shiitake soup.

Key words: natural antioxidants, shiitake soup, antioxidation, emulsion

收稿日期: 2010-11-02

基金项目: 国家“十一五”科技支撑计划项目(2008BADA1B05)。

* 通信作者: 朱科学(1978-), 男, 河南郸城人, 工学博士, 副教授, 硕士研究生导师, 主要从事方便食品及品质改良方面的研究。Email: kx.zhu@jiangnan.edu.cn

由于香菇菌汤中含有一定数量的油脂,在该产品和类似的高汤产品贮藏的过程中,油脂会发生不同程度的氧化,油脂受氧气的作用,生成氢过氧化物,然后再分解为小分子醛酮酸等,其具有刺激性气味,俗称哈喇味,极大影响产品的感官品质,不被消费者所接受。因此,作者采用了天然抗氧化剂作为外源性抗氧化剂,协同香菇菌汤中内源性的抗氧化物质对油脂进行保护。香菇菌汤中油脂大部分处于乳状液微球状态,由于乳状液中油脂氧化机理与纯油相中氧化机理不完全相同,因此需要对具体的体系进行抗氧化规律的研究。关于乳状液中油脂氧化理论的研究起步相对于纯油脂氧化较晚, Frankel 等人^[1]在对比纯油相和乳状液中抗氧化剂表面特性,其中亲脂性和亲水性抗氧化剂在两个体系中的不同,纯油相用空气-油界面特性解释,而乳状液则要考虑水-油界面特性,很多研究^[2-3]表明,影响乳状液中油脂氧化因素有很多,如油脂类型和浓度、液滴的尺寸和界面特性、乳化剂类型、水相介质和粘度等等。乳状液中脂肪的抗氧化机理目前还没有形成定论,起初提出“相似相溶”理论,极性相同才能发挥较好的作用,如非极性抗氧化剂才能在油脂中发挥抗氧化作用。又有人提出“极性矛盾”理论^[4],即极性抗氧化剂在纯油相中更有效,而非极性抗氧化剂在 O/W 乳状液中更加有效。接着又提出“切断理论”^[5],表明在乳状液中并不是极性越弱,抗氧化能力越强,而是有一个分界点,一开始随着极性的减少,抗氧化能力增加,当达到一个极限后,极性越小,抗氧化能力显著衰减。

以往对乳状液中氧化规律的研究都是建立在模型的基础上,水相以缓冲液为主,当抗氧化剂在乳状液类型产品中实际应用时,需要进一步探讨。作者针对香菇菌汤体系,研究了番茄红素、维生素 E、鼠尾草酸、茶多酚和迷迭香水溶性提取物等天然抗氧化剂分别在香菇菌汤中对油脂抗氧化影响规律。

1 材料与方 法

1.1 材料与试剂

干香菇粉、食盐、自制猪油:食用级,市售;茶多酚:陕西方昇有限公司;番茄红素:华北制药集团有限责任公司;维生素 E:江苏玺鑫维生素有限公司;迷迭香水溶性提取物:上海福乐贸易有限公司;鼠尾草酸:贵州红星发展股份有限公司。

异丙醇、甲醇、正丁醇、还原铁粉、盐酸、30% 过氧化氢、硫氰酸氨、三氯乙酸、乙二胺四乙酸二钠、

没食子酸丙酯、无水乙醇、无水乙醚:均为分析纯,国药集团化学试剂有限公司;异辛烷:进口分析纯,国药集团化学试剂有限公司;硫代巴比妥酸:生化试剂,国药集团化学试剂有限公司;双蒸水:实验室自制。

1.2 仪器与设备

1810-B 型石英自动双重纯水蒸馏器:江苏省金坛市通济仪器厂;NC10F-1A 电热鼓风干燥箱:南京市长江电器仪器厂;FA25 高剪切分散乳化机:上海弗鲁克流体机械制造有限公司;APV-1000 实验型高压均质机:美国 APV 公司;YXQ-LS-S II 全自动立式电热压力蒸汽灭菌器:上海博讯实业有限医疗设备厂;HH-6 数显恒温水浴锅:江苏省金坛市荣华仪器制造有限公司;NDJ-79 粘度计:上海越平科学仪器有限公司;Mastersizer 2000 激光粒度仪:英国马尔文公司;Lab Dancer 涡流振荡器:德国 IKA 公司;RJ-LDL-50G 低速大容量多管离心机:无锡市瑞江分析仪器有限公司;TDL-16G 台式高速离心机:上海安亭科学仪器厂;移液枪:赛默飞世尔(上海)仪器有限公司;UV-2800 型紫外可见分光光度计:尤尼柯(上海)仪器有限公司。

1.3 实验方法

1.3.1 香菇菌汤样品的制备 称取香菇粉,按照 1:70 料液比加入水,120 ℃熬制 30 min,双层纱布滤出香菇残渣,得到香菇汤清液。与煮沸的开水按照体积比 1:1 等量混合,添加质量分数 5% 的猪油,加入 0.6 g/dL 的食盐,乳化剂 0.7 g/dL(其中包括蔗糖酯 13 与分子蒸馏单甘酯,比例为 11:9),魔芋精粉 0.05 g/dL,沙蒿胶 0.05 g/dL。其中脂溶性抗氧化剂先融入油脂中再添加菌汤,水溶性抗氧化剂可直接添加入菌汤,采用两个水平添加质量分数 0.01% 和 0.03%,对照组不添加抗氧化剂。先用高剪切分散乳化机 10 000 r/min 预均质 2 min,再用均质机 40 MPa 均质两次,得到菌汤样品,备用。将准备好的样品分装到各个离心管中,密封。121 ℃杀菌 15 min。50 ℃避光保温,进行加速氧化,在一定的时间取样,进行测定。

1.3.2 粒径的测定 使用 Mastersizer 2000 激光粒度仪测定油滴粒度。

1.3.3 粘度的测定 使用 NDJ-79 粘度计测定粘度。

1.3.4 总酚和总糖的测定 总酚采用福林酚测定^[6],总糖采用苯酚硫酸法测定^[7]。

1.3.5 过氧化值测定方法 根据文献^[8-10]中的实验方法,在其基础上进行略微改进,具体如下。

吸取 1 mL 乳状液, 加入 5 mL 异辛烷/ 异丙醇(体积比 2: 1), 涡流混合 3 次, 每次 10 s, 3 000 r/min 离心 2 min, 吸取 500 μ L 上层清液于 10 mL 容量瓶中, 加入 30 μ L 混合好的硫氰酸钾溶液/ 亚铁溶液(混合等量 3. 94 M 硫氰酸钾溶液和亚铁溶液, 用甲醇/ 正丁醇(体积比 2: 1) 溶液定容, 迅速盖好塞子, 涡流混合 10 s, 15~ 25 $^{\circ}$ C 避光静置 20 min 后, 在 510 nm 下测量吸光度, 其值记为 $A_{\text{试样}}$, 同时扣除试样空白和试剂空白。

试样空白: 提取油样同实验方法, 吸取 500 μ L 上层清液(同样品取样体积) 于 10 mL 容量瓶中, 加入 15 μ L 硫氰酸钾, 其余操作同实验方法。吸光值记为 $A_{\text{试样空白}}$ 。

试剂空白: 吸取 500 μ L 异辛烷+ 异丙醇(体积比 2: 1) 于 10 mL 容量瓶中, 加入 30 μ L 混合好的硫氰酸钾溶液/ 亚铁溶液, 其余操作同实验方法。吸光值记为 $A_{\text{试剂空白}}$ 。

氢过氧化物浓度通过和铁离子标准曲线比对待量。

1.3.6 硫代巴比妥酸值测定方法 取菌汤的乳状液各 10.0 mL, 分别加入 5.00 mL 三氯乙酸(质量分数 15%) + 乙二胺四乙酸二钠溶液(0.2%) 和 1 mL 没食子酸丙酯(PG) 乙醇溶液(0.5%) 混匀, 再加入 5.00 mL 硫代巴比妥酸(TBA) 溶液(0.02 M), 涡流混匀后沸水浴 30 min, 取出, 放入冰水浴 5~ 10 min, 然后再加入 10.0 mL 正丁醇, 充分摇匀, 于 5 000 r/min 离心 5 min。取上清液分别在 532 nm 和 600 nm 下测定其吸光值^[10-11]。样品中的丙二醛生成量以 1, 1, 3, 3-四乙氧基丙烷(TEP) 作为标准对照, TEP 水解后可提供等摩尔量的丙二醛(MDA)^[12]。

2 结果与讨论

2.1 香菇菌汤 O/W 乳状液特性

香菇菌汤为 O/W 乳状液体系, 是通过蔗糖酯、分子蒸馏单甘酯、魔芋精粉和沙蒿胶稳定形成的体系, 其中蔗糖酯和分子蒸馏单甘酯为小分子非离子型表面活性剂, 油滴粒径分布见图 1。粒径分布主要在 0.2 μ m 和 10 μ m 左右。魔芋精粉和沙蒿胶存在于连续水相中, 样品的动力粘度达到 3.5 ± 0.3 mPa \cdot s。香菇菌汤中可能存在的内源性具有抗氧化能力的物质为酚类物质和香菇多糖, 其质量浓度分别为分别为 124.5 ± 0.75 μ g/mL 和 3.774 ± 0.014 mg/mL。

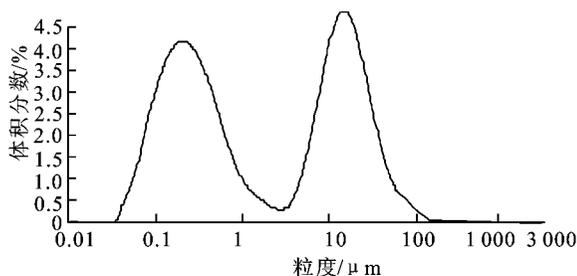


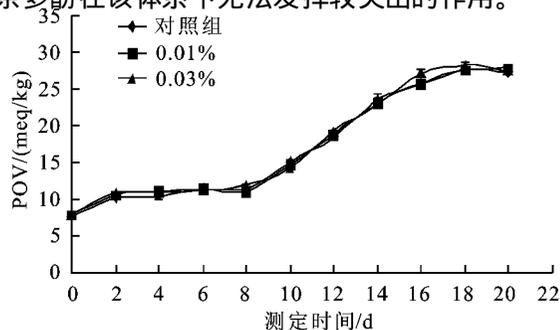
图1 油滴粒度分布

Fig.1 Granularity of oil granule

2.2 茶多酚在菌汤中对油脂的抗氧化效果

茶多酚为茶叶中主要的多羟基酚类及其衍生物质的总称^[13], 主要包括儿茶素类、黄酮及黄酮醇类、花色素类、酚酸及缩酚酸类等 4 大类物质, 以儿茶素类含量最多, 占其总量的 60%~ 90%, 由于有较高的抗氧化性, 在食品、医药等有较广泛的应用。

如图 2 所示, 随着测定时间的增加, 两个指标均在上升, 最后趋于不变。在图 2a 所示, 3 条曲线基本重叠, 说明茶多酚无抑制或促进氢过氧化物的生成。在图 2b 中, 3 条曲线同样重叠, 也就是说茶多酚也不抑制或促进丙二醛的生成。在 Huang 等人^[14]对茶叶多酚类物质抗氧化研究中, 儿茶酚等对氢过氧化物和己醛的生成均有促进作用。Mattia^[9]发现, 儿茶酚促进一级氧化并抑制二级氧化; 而陈留记等人^[15]对亚油酸乳状液氧化体系的研究中, 发现茶多酚在亚油酸的一级及二级氧化中都起到一定的抑制作用。这些结果与本研究结果不十分一致, 可能是因为在各个研究中所采用的油脂种类和浓度、乳化剂种类和浓度、形成的乳状液颗粒粒径各不一致等等, 导致茶多酚在体系中的分配有所不同, 从而所测得的茶多酚在乳状液体系中抗氧化能力结果各不相同。在本研究体系中, 香菇菌汤中含有蛋白质、多糖及一些酚类物质, 这些内源性物质具有一定的抗氧化效果, 其中蛋白质和多糖往往结合在一起, 这些糖蛋白具有抗氧化作用^[16], 并且这些蛋白质很容易吸附在乳状液液滴表面, 较容易表现出较好的抗氧化作用, 因此很有可能导致水溶性茶多酚在该体系下无法发挥较突出的作用。



(a)

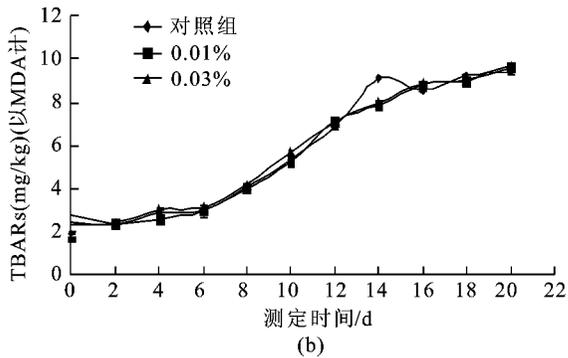


图2 添加茶多酚菌汤中脂肪一级氧化和二级氧化规律

Fig. 2 Effect of tea polyphenol on the primary oxidation and the secondary oxidation of lipid in the shiitake soup

2.3 番茄红素在菌汤中对油脂的抗氧化效果

番茄红素属于 β 类胡萝卜素,由碳、氢两种元素构成,分子式为 $C_{40}H_{56}$,有11个共轭双键和两个非共轭碳-碳双键^[7],其主要存在于成熟番茄中,作为一种色素,但是是目前发现具有较强清除自由基的抗氧化剂。

如图3中a所示,番茄红素在油脂一级氧化抑制程度来看,它不仅不抑制氢过氧化物的生成,反而一定程度上促进了氢过氧化物的生成,但是并没有随着添加量的加大,促进程度更大。在图3b中,番茄红素在油脂二级氧化抑制程度上,在起始10d,添加质量分数较高(0.03%),起始时TBARs值较高;添加质量分数较低(0.01%)。其次,从10d后可以看出,番茄红素具有较好的抑制丙二醛的生成,并且,随着添加质量分数的加大,保护效果更好,但是增长幅度并不是很明显,因此在应用时不需要再加大番茄红素的添加量。起始时添加番茄红素的样品TBARs值偏高,这可能是由于番茄红素本身的红色。对TBARs的测定(丙二醛与硫代巴比妥酸显粉红色)有干扰,所以添加量越高,起始时TBARs值也越高。随着油脂氧化的进行,番茄红素逐渐降解,其较好的抑制丙二醛的效果开始显现。Kiokias等人^[18]提到,富含番茄红素的类胡萝卜素在葵花籽油乳状液中,数据显示经过30℃保温两个月后,番茄红素组和对照组过氧化值分别为 51.15 ± 1.2 meq/kg和 46.57 ± 1.75 meq/kg,并且番茄红素组比对照组挥发性醛类(戊醛、己醛、庚醛)的浓度均要低,该文的结论与本研究相似。同样,Boon^[8]也得到相似的结论,在玉米油的O/W乳状液中,含有番茄红素的样品在200~250h的过氧化值超过了不含有番茄红素的样品,而对于正己醛浓度,含有番茄红素的样品一直处于较低的水平,这与本研究中有些不同,这是因为在该文献中正己

醛浓度测定所采用的方法为气相色谱测定,因此,样品本身的颜色不会对结果造成干扰。研究结果均表明,番茄红素可以有效地抑制醛类的生成,这可能是由于番茄红素结构中含有很多不饱和键,通过自身不饱和键的断裂,给出电子,可以有效的淬灭烷氧自由基,切断链反应,阻止氢过氧化物进一步分解为小分子醛酮类。

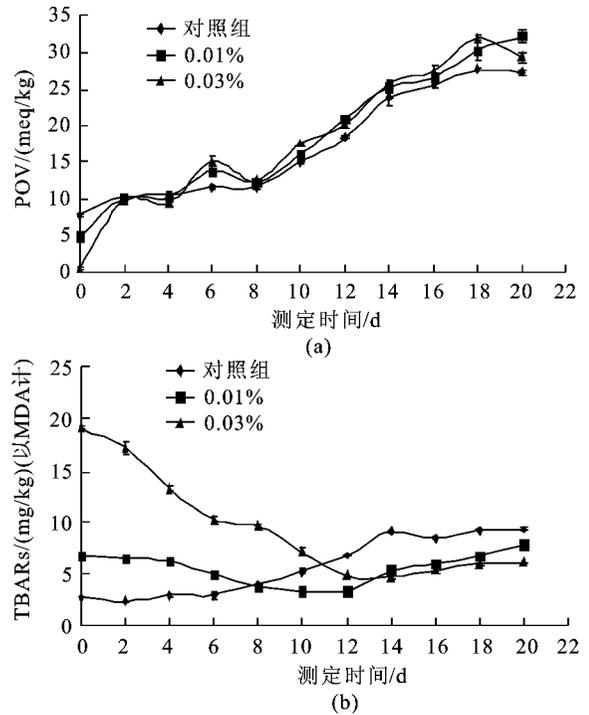


图3 添加番茄红素菌汤中脂肪一级氧化和二级氧化规律

Fig. 3 Effect of lycopene on the primary oxidation and the secondary oxidation of lipid in the shiitake soup

2.4 维生素E在菌汤中对油脂的抗氧化效果

维生素E又叫生育酚,广泛存在于多种植物原料中。由于其具有较高的抗氧化活性,在食品、医药、化妆品等中有较广泛的应用。

由图4中a可知,维生素E在抑制油脂一级氧化的规律来看,它很大程度上促进了氢过氧化物的生成,随着添加量的增大,其促进程度越大;但是由图4b可看出,维生素E很好的抑制了油脂的二级氧化,也就是说维生素E抑制了氢过氧化物进一步降解为小分子醛、酮、酸等。因此,也就抑制了油脂产生哈败味,保护菌汤的感官品质,并且随着添加量的加大,抑制效果越佳。在维生素E的实际应用时,可根据生产要求适量添加。Frankel^[19]也研究得到 α 维生素E在O/W乳状液中促进氢过氧化物的生成,抑制小分子化合物的生成,该研究结果与本研究相似。这可能的原因是维生素E通过贡献

氢给羟基自由基而促进氢过氧化物的形成,同时抑制小分子挥发性氧化产物的生成^[20]。

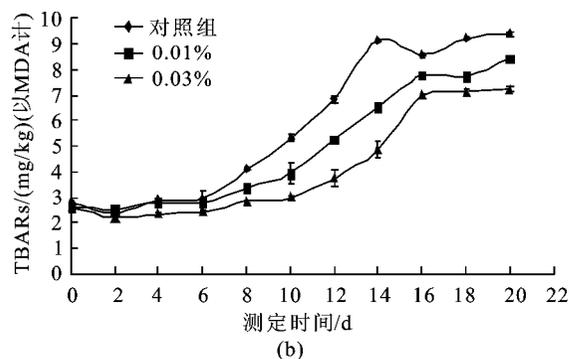
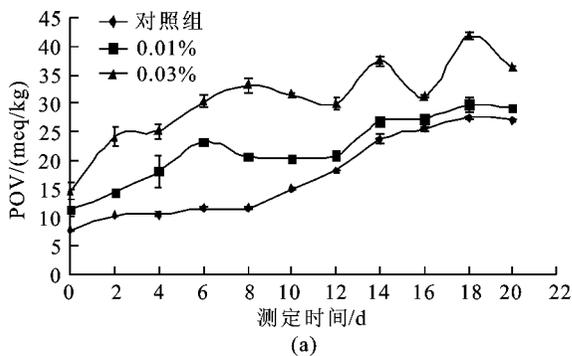


图4 添加维生素E菌汤中脂肪一级氧化和二级氧化规律

Fig. 4 Effect of vitamin E on the primary oxidation and the secondary oxidation of lipid in the shiitake soup

2.5 迷迭香水溶性提取物在菌汤中对油脂的抗氧化效果

迷迭香抗氧化剂,分为水溶性提取物和脂溶性提取物,从迷迭香植物中提取的具有抗氧化活性的一系列物质构成的混合物^[21],主要成分是二萜酚类、黄酮类和少量的三萜类化合物,其中抗氧化活性较高的为以下8种,鼠尾草酚、迷迭香酸、鼠尾草酸、咖啡酸、迷迭香酚、迷迭香二醛、芫花素和茼蒿素。其中,迷迭香水溶性提取物主要是指用极性溶剂提取的提取物。

作为用极性溶剂提取的提取物来说,在菌汤体系中,其主要分布在水相,所得的研究结果与茶多酚相似,结果见图5。无论在一级氧化还是二级氧化中,该水溶性提取物均没有抑制或促进氧化的作用。该结果与茶多酚组结果相似,水溶性迷迭香提取物研究较少,因此可能产生该结果的原因和茶多酚相似,可能是水溶性提取物不能有效的接触到菌汤中乳状液液滴表面,因此当油脂发生氧化作用时,不能很好的抑制氧化。

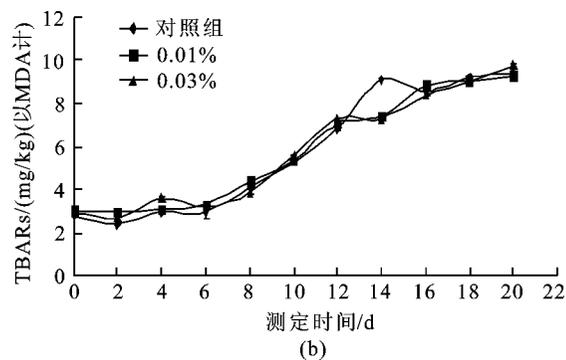
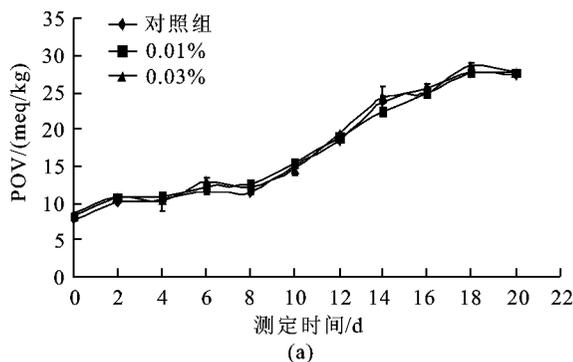


图5 添加迷迭香水溶性提取物菌汤中一级氧化和脂肪二级氧化规律

Fig. 5 Effect of rosemary water-soluble extracts on the primary oxidation and the secondary oxidation of lipid in the shiitake soup

2.6 鼠尾草酸在菌汤中对油脂的抗氧化效果

鼠尾草酸作为迷迭香提取物中抗氧化活性较高的有效成分之一,鼠尾草酸溶于非极性溶剂。由图6(a)可知,鼠尾草酸在抑制油脂一级氧化上,与番茄红素类似,对氢过氧化物的生成稍微促进,幅度不大。因此,可以认为在一级氧化上,没有抑制作用,添加量基本与促进幅度无关。由图6(b)可知,鼠尾草酸同样也是在抑制氢过氧化物分解方面后期发生了较显著的作用,可能也是由于鼠尾草酸本身也有一种黄绿色,所以认为在初期TBARS测定时产生一定的干扰作用,添加量越大,干扰越强,与番茄红素类似,随着保存时间的延长,鼠尾草酸逐渐消耗,在第8天时,可以看出其有效抑制了氢过氧化物的分解,较好的抗氧化效果开始显现,并且随着添加量的增大,抗氧化效果更佳。Frankel等人^[22]对迷迭香提取物在O/W乳状液中研究中发现,鼠尾草酸在50 μg/g水平下,抑制氢过氧化物生成,尤其是在己醛生产量上,比较明显的抑制了己醛的生成,与本研究结果相似。

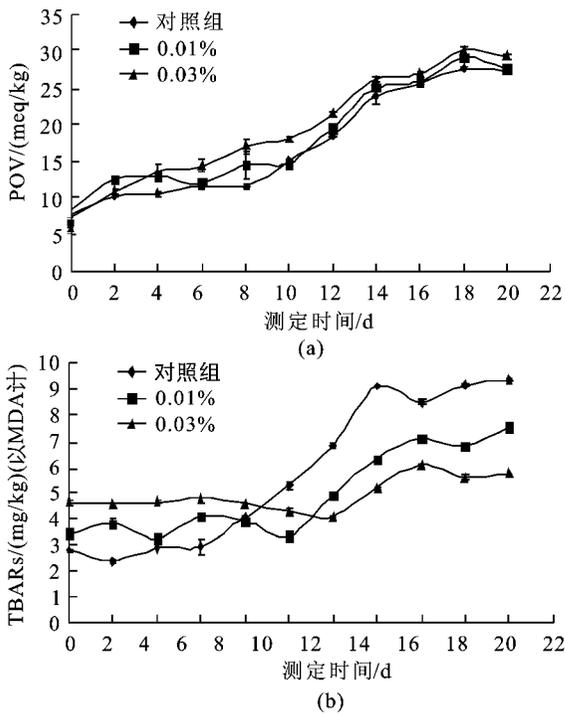


图6 添加鼠尾草酸菌汤中脂肪一级氧化和二级氧化规律

Fig. 6 Effects of carnosic acid on the primary oxidation and the secondary oxidation of lipid in the shi-itake soup

3 结 语

通过对茶多酚、番茄红素、维生素 E、迷迭香水溶性提取物、鼠尾草酸 5 种天然抗氧化剂在香菇菌汤中抗氧化规律研究表明, 番茄红素、维生素 E、鼠尾草酸, 在抑制菌汤中油脂的一级氧化均无明显效果, 其中维生素 E 表现出较强的促进一级氧化产物的生成, 在菌汤中油脂二级氧化上, 三者均能有效抑制氢过氧化物分解成小分子醛酮酸等等, 而茶多酚、迷迭香水溶性提取物则没有抑制或促进菌汤中油脂的一级氧化和二级氧化。从目前本研究的 5 种天然抗氧化剂的研究结果来看, 在香菇菌汤体系中, 番茄红素、维生素 E 和鼠尾草酸比茶多酚、迷迭香水溶性提取物具有更好的抗油脂氧化效果。

参考文献 (References):

- [1] Frankel E N, Huang S W, Kanner J, et al. Interfacial phenomena in the evaluation of antioxidants: bulk oils vs emulsions [J]. *J Agric Food Chem*, 1994, 42: 1054- 1059.
- [2] 吕兵. 多不饱和脂肪酸乳状液体系氧化机制的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2007.
- [3] Osborn H T, Akoh C C. Effect of emulsifier type, droplet size, and oil concentration on lipid oxidation in structured lipid-based oil-in-water emulsions[J]. *Food Chemistry*, 2004, 84: 451- 456.
- [4] Porter W L, Black E D, Drolet A M. Use of polyamide oxidative fluorescence test on lipid emulsion: contrast in relative effectiveness of antioxidants in bulk versus dispersed systems[J]. *J Agric Food Chem*, 1989, 37: 615- 624.
- [5] Laguerre M L, Giraldo L J, Lecomte J, et al. Chain length affects antioxidant properties of chlorogenate esters in emulsion: the cutoff theory behind the polar paradox[J]. *J Agric Food Chem*, 2009, 57 (23): 11335- 11342.
- [6] International Organization for Standards. ISO 14502-1-2005 Determination of substances characteristic of green and black tea [S].
- [7] 中华人民共和国质量监督检验检疫总局. GB/T 15672-2009 食用菌中总糖含量的测定[S].
- [8] Boon C S, Xu Z H, Yue X H, et al. Factors affecting lycopene oxidation in oil-in-water emulsions[J]. *J Agric Food Chem*, 2008, 56: 1408- 1414.
- [9] Mattia C D, Sacchetti G, Mastrocola D, et al. Effect of phenolic antioxidants on the dispersion state and chemical stability of olive oil O/W emulsions[J]. *Food research international*, 2009, 42: 1163- 1170.
- [10] 余辉. 大豆油在乳状液中的氧化影响因素研究[D]. 无锡: 江南大学, 2007.
- [11] Juncher D, Vestergaard C S, Sultoft-Jensen J, et al. Effects of chemical hurdles on microbiological and oxidative stability of a cooked cured emulsion type meat product[J]. *Meat science*, 2000, 55: 483- 491.
- [12] 赵国华. TBA 法测定肉的脂氧化[J]. *肉类工业*, 1998, 9: 34- 37.

- Zhao Guo-hao. Thiobarbituric acid test for determining lipid oxidation in meat[J]. **Meat Industry**, 1998, 9: 34– 37. (in Chinese)
- [13] 李萌, 王华燕, 胡文祥, 等. HPLC 法快速测定茶多酚中儿茶素类及咖啡因含量[J]. 中国医药导刊, 2007, 9(6): 506– 507.
- LI Meng, WANG Hua-yan, HU Wen-xiang, et al. HPLC determination of catechins and caffeine in tea polyphenols[J]. **Chinese Journal of Medicinal Guide**, 2007, 9(6): 506– 507. (in Chinese)
- [14] Huang S W, Frankel E N. Antioxidant activity of tea catechins in different lipid systems[J]. **J Agric Food Chem**, 1997, 45: 3033– 3038.
- [15] 陈留记, 杨贤强, 张锡林. 乳化剂对茶多酚和脂溶性茶多酚抗亚油酸及其乳化体系氧化作用的影响[J]. 中国粮油学报, 2003, 18(1): 61– 64.
- CHEN Liu-ji, YANG Xian-qiang, ZHANG Xi-lin. Effect of emulsifier on antioxidation of tea polyphenols and lipid-soluble tea polyphenols in linoleic acid and linoleic acid-in-water emulsion[J]. **Chinese Cereals and Oils Association**, 2003, 18(1): 61– 64. (in Chinese)
- [16] 彭冬兵. 香菇中一种抗氧化活性成分的分离及组成分析[D]. 无锡: 江南大学, 2008.
- [17] 张连富, 张环伟. Cosmosil Cholest er HPLC 法分离番茄红素异构体的研究[J]. 食品与生物技术学报, 2010, 29(5): 698– 703.
- ZHANG L F, Zhang H W. Study on the separation of lycopene isomers via cosmosil cholesterol HPLC system[J]. **Journal of Food Science and Biotechnology**, 2010, 29(5): 698– 703. (in Chinese)
- [18] Kiokias S, Dimakou C, Oreopoulou V. Activity of natural carotenoid preparations against the autoxidative deterioration of sunflower oil in water emulsions[J]. **Food Chemistry**, 2009, 114: 1278– 1284.
- [19] Frankel E N. Antioxidants in lipid foods and their impact on food quality[J]. **Food Chemistry**, 1996, 57: 51– 56.
- [20] Decker E A, Warner K, Richards M P, et al. Measuring antioxidant effectiveness in food[J]. **J Agric Food Chem**, 2005, 53: 4303– 4310.
- [21] 刘先章, 赵振东, 毕良武, 等. 天然迷迭香抗氧化剂的研究进展[J]. 林产化学与工业, 2004, 24: 132– 138.
- LIU Xian-zhang, ZHAO Zhen-dong, BI Liang-wu, et al. Progress on research of natural rosemary antioxidant[J]. **Chemistry and Industry of Forest Products**, 2004, 24: 132– 138. (in Chinese)
- [22] Frankel E N, Huang S W, Aeschbach R, et al. Antioxidant activity of a rosemary extract and its constituents, carnosic acid, carnosol, and rosmarinic acid, in bulk oil and oil-in-water emulsion[J]. **J Agric Food Chem**, 1996, 44: 131– 135.