

## 植物源性天然抗氧化物质对食物抗氧化保护研究进展

杨崇武 (山东农业大学生命科学学院, 山东泰安 271019)

**摘要** 高油脂,特别是高多不饱和脂肪酸食品和饲料脂肪氧化,是影响食品质量和安全的重要因素。食物油脂变坏实质上是不饱和脂肪酸与氧之间发生的自身氧化反应,自由基的存在是加速油脂氧化的必要条件。化学合成的酚类抗氧化添加剂在食品和动物饲料中使用了半个多世纪,它们的副作用逐渐引起人们关注。天然食物中存在的必需脂肪酸、某些植物酶、类黄酮化合物、维生素,特别是多酚类化合物都是天然抗氧化有效成分,生姜中的姜酚、八角中的茴香脑、茴香醛和丹参中的丹酚酸等,都是典型的天然植物抗氧化物质,其抗氧化功效与化学合成的酚类抗氧化添加剂相当。

**关键词** 食物氧化;植物源性;姜酚;茴香脑;丹酚酸;抗氧化作用

**中图分类号** S609.9 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2013)17-07676-03

**Research Progress of Plant-derived Natural Antioxidants on Food Anti-Oxidant Protection**

**YANG Chong-wu** (College of Life Science, Shandong Agricultural University, Tai'an, Shandong 271019)

**Abstract** High oil and grease, especially high lipid oxidation of polyunsaturated fatty acids in food and animal feed, is an important factor for food quality and safety. The deterioration of food lipids is essentially an oxidation reaction between the unsaturated fatty acids and oxygen, and the existence of free radical is a necessary condition for accelerating the oxidization of oil. Although the chemical synthetic phenolic antioxidant additives have been used in food and animal feed more than half a century, their side effects gradually aroused social attentions. Essential fatty acid in the presence of natural food, certain plant enzymes, flavonoids, vitamin, especially polyphenolic substances are effective ingredients of natural antioxidant. The gingerol of ginger, anisaldehyde and anethole of anise, salvianolic acid in salvia miltiorrhiza and so on, are typical natural antioxidants, its antioxidant effect can completely match the chemical synthetic phenolic antioxidant additives.

**Key words** Food oxidation; Plant-derived; Gingerol; Anethole; Salvianolic acid; Antioxidation

随着人民生活水平的提高,高多不饱和脂肪酸(PUFA)添加剂,以及富含 PUFA 的新鲜油脂(核桃油、大豆油、花生油)越来越受到人们青睐<sup>[1]</sup>。维生素补剂和强化食品也进入人们的日常生活。在动物饲养上,无论是宠物食粮还是动物饲料,多不饱和脂肪酸(如亚油酸)和各种维生素都是重要的营养指标<sup>[2]</sup>。高油脂,特别是富含 PUFA 的食品和饲料,易受光、热、氧气和微生物等的影响,逐渐被水解或氧化而变质酸败,导致食物中油脂的酸价(Acid value, AV)和过氧化值(Peroxide value, PV)变高。酸败过程中油脂代谢产生醛、酮、醇、酯、烃等有害物质,轻者影响食品口味,重者导致人们食用后食物中毒;同样,对于动物来说,轻者会抑制动物适口性,严重的将导致动物拒食、中毒、甚至死亡<sup>[3]</sup>。

微量元素强化食品中铁、铜、锰等添加量增加,也是加剧脂质过氧化反应速度的因素。动物平衡饲料中,矿物质是必需的组分,这更成为加速饲料中油脂氧化的因素。脂肪氧化引发的多种维生素破坏,是影响动物饲料质量和安全的重要因素。因此,食物和饲料中需要添加抗氧化剂,抑制脂肪酸败,防止食品油脂和类似物质的氧化,避免由此而导致的营养损坏、褐变、褪色等危害<sup>[4]</sup>。

**1 食物中的氧化反应**

食物中油脂变坏是一种自身氧化反应,实质上是不饱和脂肪酸与氧之间发生的典型自由基连锁反应,自由基的存在是加速油脂氧化的必要条件<sup>[5]</sup>。按照自由基理论,该过程分3步:①起始反应。在光或者热条件下,少量脂肪被分解为不稳定的自由基( $\text{RH} \rightarrow \text{R}\cdot + \text{H}\cdot$ )。②传播反应。自由

基与氧发生反应,形成过氧自由基( $\text{R}\cdot + \text{O}_2 \rightarrow \text{ROO}\cdot$ ),过氧自由基又与新的油脂发生反应,形成不稳定的氢过氧化物和新的自由基( $\text{ROO}\cdot + \text{RH} \rightarrow \text{ROOH} + \text{R}\cdot$ )。因此,只要有氧的存在,自由基 $\text{R}\cdot$ 就可循环产生,引起油脂自身氧化反应。同时,此过程产生的氢过氧化物又可以崩解与其他自由基作用而产生醛、酮( $\text{ROOH} \rightarrow \text{RO}\cdot + \cdot\text{OH}$ ;  $\text{RO}\cdot \rightarrow \text{R}\cdot + \text{R}_2\text{-CHO}$ ;  $\text{RO}\cdot + \text{R}\cdot \rightarrow \text{ROR}$ )。③终结反应。各种游离基之间相互结合为二聚体、三聚体等( $2\text{R}\cdot \rightarrow \text{R}-\text{R}$ ;  $2\text{RO}\cdot \rightarrow \text{RO}-\text{OR}$ ;  $2\text{ROO}\cdot \rightarrow \text{ROOR} + \text{O}_2$ ),导致油脂氧化反应终止。油脂氧化也是导致维生素等功能性物质被氧化的诱因<sup>[6]</sup>。

**2 抗氧化机理和应用现状**

遏制食品中油脂氧化可采用多种方式,包括:降低食品体系中的氧含量,阻止自由基循环产生;吸收自由基,中断氧化过程中的链式反应;抑制氧化酶的活性,使其不能催化氧化反应的进行;络合金属离子,封闭能催化氧化反应的矿物质元素等。

使用抗氧化添加剂吸收自由基是阻断油脂氧化的最有效手段。抗氧化添加剂抑制油脂氧化的基本原理就是能向自由基提供氢原子,使自由基转变为稳定的化合物,从而中断油脂自身氧化的连锁反应<sup>[7]</sup>。抗氧化添加剂(AH 或者  $\text{AH}_2$ )中的氢可以提供给已被氧化脱氢后的脂肪自由基,使其还原到脂肪的原来状态( $\text{AH}_2 + \text{R}\cdot \rightarrow \text{RH} + \text{AH}\cdot$ );也可以提供给已被氧化成的过氧化自由基,使其成为氢过氧化物( $\text{AH}_2 + \text{ROO}\cdot + \cdot \rightarrow \text{ROOH} + \text{AH}\cdot$ ; 进一步:  $\text{AH}\cdot + \text{ROO}\cdot \rightarrow \text{ROOH} + \text{A}\cdot$ )。此外,抗氧化剂能够抑制氧化的连锁反应,使自身形成的自由基能很快形成稳定的二聚体( $\text{A}\cdot + \text{A}\cdot \rightarrow \text{AA}$ ;  $\text{A}\cdot + \text{ROO}\cdot \rightarrow \text{ROOA}$ )。

食品和饲料加工最普遍使用的油脂类抗氧化剂是丁基羟基茴香醚(BHA)、二丁基羟基甲苯(BHT)、没食子酸丙酯

(PG)和叔丁基对苯二酚(TBHQ)等化工合成的酚类抗氧化剂<sup>[8]</sup>。它们常用于食用油脂、油炸食品、早餐谷类食品等,能阻碍油脂食品的氧化作用,也是动物饲料中最常用的抗氧化添加剂,用于保护油脂以及 $V_A$ 、 $V_D$ 、 $V_E$ 、 $V_K$ 等。BHA除了具有抗氧化作用,还有较强的抗菌能力和抑制霉菌和毒素产生的作用。虽然这些酚类抗氧化剂已允许在食品和动物饲料中使用了半个多世纪,但其使用的安全性越来越受到人们关注。如BHT和BHA已在动物试验中被怀疑与导致肝损害和肝癌有关系<sup>[9]</sup>。因此,它们的使用范围和使用量被严格控制,寻找和开发天然无毒、无害的抗氧化剂意义重大。

### 3 植物源性天然抗氧化物质

**3.1 天然植物抗氧化剂及其作用** 具有抗氧化作用的物质,广泛存在于天然食品、调料、动物饲料中。尽管食物和饲料的自身氧化基础是高多不饱和脂肪酸的存在,但其中的必需脂肪酸(亚油酸、亚麻酸和花生四烯酸等),主要是以磷酸酯、甘油三酸酯或胆固醇酯等形式存在,它们自身能如抗氧化剂那样给出一个电子而中断脂质过氧化反应。类黄酮化合物、 $V_E$ 、 $V_C$ 等可通过向过氧化自由基提供一个电子中断链式反应,发挥抗氧化作用。大分子蛋白质、游离氨基酸等,可以与食物和饲料中的金属离子结合,抑制催化自由基反应。某些植物酶,如过氧化物歧化酶(SOD)可通过清除氧化剂,减少自由基的产生;谷胱苷肽过氧化酶(GPX)则可将PUFA氧化产生的脂质过氧化物还原成稳定、无毒的羟基脂肪酸<sup>[10]</sup>。

天然植物中的多酚类化合物具有提供氢原子,供给已被氧化脱氢后的脂肪自由基和过氧化自由基,导致油脂自身氧

化反应终止。其中小分子多酚还可以络合能催化自由基形成的金属离子,抑制自由基的形成。因此,植物多酚类化合物完全符合化学合成抗氧化添加剂的作用原理<sup>[11]</sup>。

维生素既是食品和饲料中常规的营养素,又可作为抗氧化剂。 $V_E$ 可通过清除羟基自由基而中断链式反应,并与一些植物抗氧化剂有协同作用。由于 $V_E$ 广泛存在并溶解于新鲜植物油脂,因此,是最天然的植物抗氧化剂。 $V_C$ 则是新鲜植物性食物和饲料中广泛存在的天然抗氧化剂,并与大多数其他抗氧化剂具有协同作用。

### 3.2 典型的天然植物抗氧化添加剂

**3.2.1 生姜。**生姜是多年生草本姜(*Zingiber officinale* Rose)的根茎,主要功能成分为姜辣素和挥发油(也称姜精油,主要为萜类物质)等,能够刺激胃肠道黏膜,增加胃液分泌,提高肠道消化酶活性,促进食物消化吸收,增强食欲。同时可以扩张血管,促进血液循环。姜酚还具有抑制前列腺素合成、抗凝血、防治心血管疾病、抗肿瘤等生物活性<sup>[12-13]</sup>。

然而,上述作用的基础主要来源于生姜的抗氧化作用。生姜中的辣味成分姜辣素,是以姜酚为主的系列衍生物,结构中均含有3-甲氧基-4-羟基苯基,根据该官能团连接的脂肪链不同,姜辣素可分为:姜醇类、姜烯酚类、姜酮类、姜二酮类、姜二醇类、副姜油酮6类(图1)。姜酚的酚类结构和 $\beta$ -羟基酮结构均与抗氧化作用有关<sup>[14]</sup>,其抗氧化效果强于 $V_E$ 和丁基羟基茴香醚,能明显地清除生物体中羟基自由基和超氧自由基并降低肝脏组织中的脂质过氧化物。生姜作为抗氧化香料广泛应用于肉类保鲜、防止油脂酸败等,其提取物抗氧化作用较生育酚强。

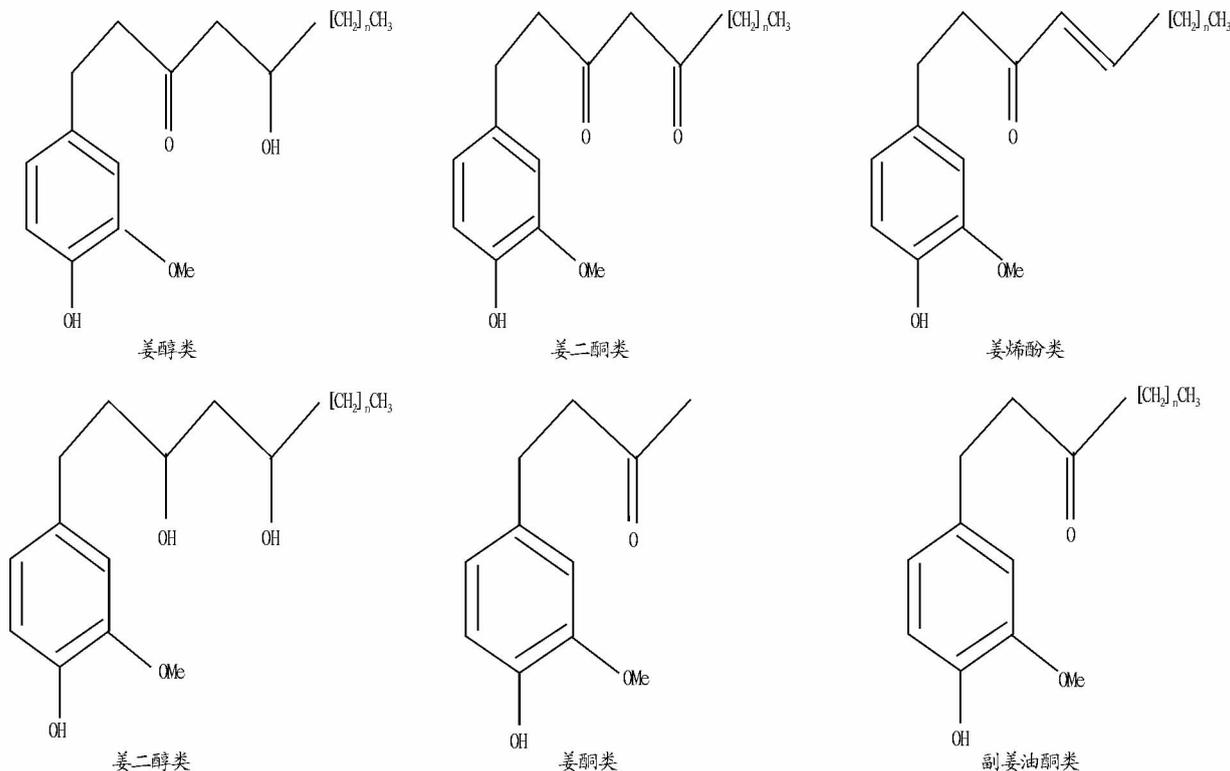


图1 姜辣素类化合物结构

肉鸡饲料添加0.5%~1.0%生姜粉可以提高生产性能、抗氧化性能和增强免疫力,并且姜粉粉碎粒度37~74 μm时能发挥更好的抗氧化效果<sup>[15]</sup>。蛋鸡饲料添加生姜粉或者姜油,可以降低饲料脂肪的AV和PV值,有较强的抗氧化作用<sup>[16]</sup>。

**3.2.2 八角。**八角(*Illicium verum*),又称茴香等,传统上八角主要用于制作调味品。八角油简称茴油,是从新鲜或干燥八角果实中提取出来的芳香油,主要成分为反式茴香脑(图2)占80%~90%,其次是茴香醛(图3),还有少量的桉树脑、柠檬烯、 $\alpha$ -蒎烯等<sup>[17]</sup>。茴香油通常用于调制食品香精、日用香精等。八角中最常用的辛香料以及八角油既是最好的调味品,也是很好的食品抗氧化剂。通过进行过氧化值(POV)测定,比较八角油、肉桂油和BHA的抗氧化能力研究结果表明,八角油有与BHA相似的抗氧化作用,油脂中添加0.06%八角油能发挥较好的抗氧化作用<sup>[18]</sup>。八角油可以清除·OH及O·,具有一定的抗氧化性<sup>[19]</sup>,因此,八角及其提取物以及人们日常用的香辛料调味品,其具备的食品抗氧化作用机理和利用方法,有待于进一步研究和开发。

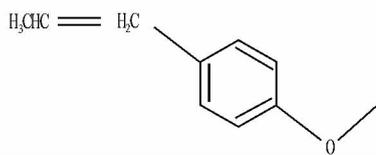


图2 反式茴香脑结构

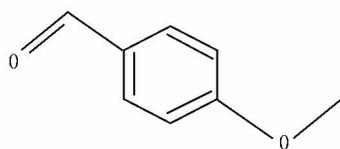


图3 茴香醛结构

**3.2.3 丹参。**丹参(*Salvia miltiorrhiza* Bunge)又名赤参等,为唇形科鼠尾草属植物的干燥根部,是临床最常用活血化瘀中药。丹参的化学成分已经证明结构的有50多种,其有效物质分两大类,脂溶性(二萜醌类化合物)主要是丹参酮、丹参酮II、隐丹参酮等,除了具有明显抗炎作用外,还具有类雌激素样和抗心肌缺血等作用;水溶性部分(酚性酸类化合物)具有较强的抗心肌缺血作用,主要活性成分有丹参素、原儿茶醛、咖啡酸、迷迭香酸及甲酯以及丹酚酸A、B、C等<sup>[20]</sup>。

丹酚酸组成中,丹酚酸B(Salvianolic acid B,图4)含量最多,有很强的清除自由基、还原和抗脂质过氧化能力,抗氧化能力强于V<sub>c</sub><sup>[21]</sup>。通过研究6种植物对油脂的抗氧化作用的

结果表明,丹参的抗氧化效果优于人工合成V<sub>E</sub>。通过体外抗氧化活性研究表明,丹参提取物具有较强的抗氧化活性,可作为一种新的自由基清除剂和天然抗氧化剂<sup>[22]</sup>。

#### 4 结语

食物油脂变坏实质上是不饱和脂肪酸与氧之间发生的一种自身氧化反应,自由基的存在是加速油脂氧化的必要条件。抑制食物中油脂氧化的基本措施可以是降低食品体系中氧含量、吸收自由基中断氧化链式反应、抑制氧化酶活性和络合金属离子等。化学合成的酚类抗氧化添加剂在食品和饲料中使用最普遍,但它们的副作用逐渐引起关注。

天然食物中存在的必需脂肪酸、某些植物酶、类黄酮化合物、维生素,特别是多酚类化合物都是天然抗氧化有效成分;生姜中的姜酚、八角中的茴香脑及茴香醛和丹参中的丹酚酸等,都是典型的天然植物抗氧化物质,其抗氧化功效可以与化学合成的酚类抗氧化添加剂相媲美。研究植物源性抗氧化物质,开发植物源性天然抗氧化添加剂,抑制高脂肪食物抗氧酸败前景广阔。

#### 参考文献

- [1] 吴丽红,涂增. 多不饱和脂肪酸在食品中的应用及其发酵法生产概况[J]. 中国食品添加剂,2006(3):113-115,135.
- [2] 姜伟,衣丹,李江,等. 共轭亚油酸作为饲料添加剂的应用研究[J]. 饲料研究,2007(8):29-31.
- [3] 孙卫北. 影响食用油品质变化的环境因素及控制方法[J]. 中国油脂,2001,26(6):64.
- [4] 董彩凤. 饲用油脂酸败的机理、危害及控制[J]. 养殖技术顾问,2012(1):58.
- [5] GUILLEN M D, CABO N. Fourier transform infrared spectra versus peroxide and anisidine values to determine oxidative stability of edible oils[J]. Food Chem,2002,77:503-510.
- [6] 刘志诚. 营养与食品卫生学[M]. 北京:人民卫生出版社,1991.
- [7] 李银聪,阚建全,柳中. 食品抗氧化剂作用机理及天然抗氧化剂[J]. 中国食物与营养,2011,17(2):24-26.
- [8] 张伯帅,王宝维. 天然抗氧化剂在油脂中的应用研究进展[J]. 肉类工业,2010(10):54-56.
- [9] 杨洋,韦小英. 国内外天然食品抗氧化剂的研究进展[J]. 食品科学,2002,6(10):137-138.
- [10] 郑德勇,安鑫南. 植物抗氧化剂的研究概况与发展趋势[J]. 林产化学与工业,2004,24(3):113-118.
- [11] 郑瑞生,封辉,戴聪杰,等. 植物中抗氧化活性成分研究进展[J]. 中国农学通报,2010(9):85-90.
- [12] PLATEL K, SRINIVASAN K. Influence of dietary spices and their active principles on pancreatic digestive enzymes in albino rats[J]. Nahrung,2000,44:42-46.
- [13] TAPSELL L C, HEMPHILL I, COBIAC L, et al. Health benefits of herbs and spices: The past, the present, the future[J]. Med J Aust,2006,185:4-24.
- [14] 姜子涛,李荣. 姜辣素化学及其研究进展[J]. 食品研究与开发,1998,19(1):7-10.
- [15] ZHANG G F, YANG Z B, WANG Y. Effects of ginger root (*Zingiber officinale*) processed to different particlesizes on growth performance, antioxidant status, and serum metabolites of broiler chickens[J]. Poult Sci,2009,88:2159-2166.
- [16] ZHAO X, YANG Z B, YANG W R. Effects of ginger root (*Zingiber officinale*) on laying performance and antioxidant status of laying hens and on dietary oxidation stability[J]. Poult Sci,2011,90:1720-1727.
- [17] 连锦花,孙果宋. 八角的研究进展[J]. 化工技术与开发,2010,39(3):31-33.
- [18] 余炜,田玉红,张英,等. 八角和肉桂油抗油脂氧化性能研究[J]. 东北农业大学学报,2011,42(8):34-38.
- [19] 阳小勇,黄初升,刘红星. 八角茴香油的化学成分及其抗氧化性研究[J]. 中国调味品,2010,35(7):38-44.

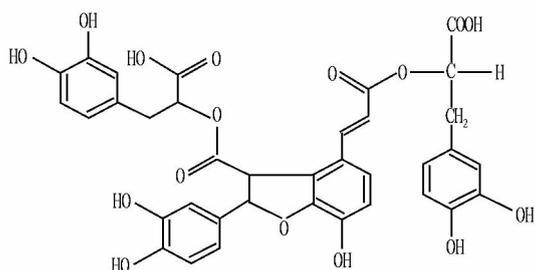


图4 丹酚酸B的结构

ml,加水稀释至刻度,摇匀,静置15 min。同时取5 ml水代替待测液处理作空白对照。于可见分光光度计中510 nm波长下测吸光度值,根据标准曲线求出待测液的总黄酮浓度,计算出样品中浓度,单位为mg/kg蜂蜜,以芦丁计。

**1.2.3 统计分析。**试验数据采用统计学软件SPSS 17.0进行独立样本 $t$ 检验和单因素最小二乘分析,分析和处理结果以平均值 $\pm$ 标准差( $SD$ )表示。

## 2 结果与分析

**2.1 2011~2012年石榴花蜂蜜黄酮含量比较分析** 试验测得,2011和2012年石榴花蜂蜜中黄酮平均含量分别为(23.60 $\pm$ 1.36)mg/kg和(17.10 $\pm$ 0.53)mg/kg,对2011和

2012年蜂蜜中黄酮含量进行差异分析,2011年显著高于2012年。

**2.2 石榴花期蜂蜜不同生产批次黄酮含量变化分析** 通过对2011和2012年石榴花期不同生产批次间蜂蜜中黄酮含量进行比较,含量最高批次与其他批次之间差异极显著( $P < 0.01$ ),结果见表1。每年石榴花蜂蜜中黄酮含量变化为:盛花期>末花期>初花期,最高值都出现在第3批次,为石榴盛花期;最低值出现在第1批次,为石榴初花期。通过图1可以看出,第1批次到第4批次蜂蜜中的黄酮含量先升高后降低,说明石榴花蜂蜜中黄酮含量随花期变化而改变,初花期到盛花期含量升高,盛花期到末花期含量降低。

表1 不同生产批次的蜂蜜黄酮含量比较

年份	不同生产批次的蜂蜜中的黄酮含量			
	1	2	3	4
2011	16.80 $\pm$ 1.26 <sup>bb</sup>	21.40 $\pm$ 1.05 <sup>bb</sup>	42.50 $\pm$ 0.31 <sup>aA</sup>	17.50 $\pm$ 0.60 <sup>bb</sup>
2012	13.30 $\pm$ 0.30 <sup>bc</sup>	19.30 $\pm$ 0.39 <sup>aAB</sup>	21.70 $\pm$ 0.65 <sup>aA</sup>	14.10 $\pm$ 0.07 <sup>bcC</sup>

注:同行比较,肩标小写字母不同表示差异显著(0.01 $<P < 0.05$ );大写字母不同表示差异极显著( $P < 0.01$ )。

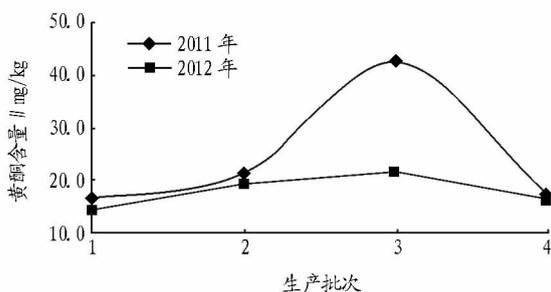


图1 不同生产批次蜂蜜中黄酮含量变化

## 3 讨论

研究得出,云南蒙自地区2011年石榴花蜂蜜黄酮平均含量显著高于2012年。有研究指出,蜂蜜总的抗氧化能力与其含有的总酚酸类物质密切相关( $R^2 = 0.963$ ,  $P < 0.0001$ )。黄酮类和酚单体衍生物是最常见的酚酸类物质<sup>[6]</sup>。Shure等研究发现,由于干旱,植物中碳水化合物的分配发生了改变,用于形成酚类化合物的碳源不足,干旱季节植物体所含的叶蛋白和酚类化合物的量明显降低<sup>[11]</sup>。2011~2012年云南省出现持续干旱天气,根据蒙自市气象台发布的资料显示,从2011年11月到2012年4月期间蒙自降水量比往年偏低,气温偏高,所以对石榴植株中多酚含量造成影响,花蜜中的多酚物质减少,造成蜂蜜中黄酮含量的差异。

石榴花蜂蜜中黄酮含量随花期变化而改变,初花期到盛花期含量升高,盛花期到末花期含量降低,总体表现出先增后减的规律<sup>[12]</sup>,这一规律符合植物花期的生理变化。

## 参考文献

- [1] 红河州地方志办公室.红河州年鉴[M].昆明:云南人民出版社,2011.
- [2] 赵金英,樊紫周,赵伟鸿,等.栽培甘草的黄酮提取物对糖尿病大鼠血糖、尿糖及抗氧化作用的影响[J].宁夏医科大学学报,2012(2):110-114.
- [3] 王晓琴,王冰芳,张学武.西兰苔叶黄酮体外抗癌活性的研究[J].安徽农业科学,2010(35):20014-20015,20024.
- [4] 黄晓冬.4种龙眼核提取物的总黄酮含量、体外抗菌活性与抗氧化活性[J].食品科学,2011(11):43-47.
- [5] COOK NC, SAMMAN S. Flavonoids Chemistry, metabolism, cardioprotective effects, and dietary sources[J]. Journal of Nutritional Biochemistry, 1996, 7(2):66-76.
- [6] BROVO L. Polyphenols: Chemistry, dietary sources, metabolism, and nutritional significance [J]. Nutrition Review, 1998, 56(11):317-333.
- [7] 陈兰珍,叶志华,赵静.蜂蜜品种鉴别技术研究进展[J].食品科学,2008,29(3):494-498.
- [8] 国家蜂产品质量中心. GB/T 20574-2006, 蜂胶中总黄酮含量的测定方法 分光光度比色法[S].北京:中国标准出版社,2007.
- [9] 罗显来,刘吟,黄文,等.湖北油菜蜂蜜的指纹图谱研究[J].中国蜂业,2010(4):10-13.
- [10] 张文霖,和绍禹,方敬会,等.蜂蜜中黄酮提取实验条件的研究[J].蜜蜂杂志,2009(8):10-12.
- [11] SHURE D J, MOORESIDE P D, OGLE S M. Rainfall effects on plant herbivore processes in an upland oak forest[J]. Ecology, 1998, 79(2):604-617.
- [12] 伍柏坚,林励,陈康,等.化州柚花不同花期黄酮类成分含量的动态变化研究[J].中药新药与临床药理,2007,9(3):377-379.

(上接第7678页)

- [20] 秦海燕,索志荣.丹参水提物的体外抗氧化活性分析[J].西南科技大学学报,2012,27(2):82-85.
- [21] 田影,何克江,朱靖博.丹酚酸B的体外抗氧化活性[J].大连工业大学学报,2008,27(4):305-308.
- [22] 王研,温新宝,秦翠萍.丹参提取物体外抗氧化活性研究[J].西北农业学报,2011,20(11):160-163.

- [23] 郑俏然,姚成强,余海霞.生姜提取液对冷却猪肉保鲜效果的研究

- [J].安徽农业科学,2011,39(6):3667-3668,3687.

- [24] 王华,曹婧,翟丽娟,等.猕猴桃果肉提取物抗氧化活性研究[J].华北农学报,2013(2):144-149.
- [25] CAO P F. Study on antioxidation of tannin from pomegranate rind and green tea[J]. Medicinal Plant, 2011, 2(6):22-24.
- [26] 刘焱,姜佳星,阮林浩,等.茶多酚对冷藏鱼糜油脂抗氧化作用的研究[J].湖南农业科学,2013(5):84-87.