

# 蛋白质与还原糖美拉德反应产物的抗氧化活性

项惠丹, 许时婴, 王 璋

(江南大学 食品科学与技术国家重点实验室, 江苏 无锡 214122)

**摘 要:** 本实验采用酪蛋白和大豆分离蛋白同还原糖发生美拉德反应, 研究其美拉德反应产物的抗氧化活性, 测定了还原力、DPPH·和·OH的清除作用、对脂质体过氧化的抑制能力。结果表明, 酪蛋白与还原糖反应得到的美拉德反应产物还原力、对脂质体过氧化的抑制能力、自由基清除能力均高于大豆分离蛋白制备的美拉德反应产物。美拉德反应产物的抗氧化活性同反应物浓度和反应时间存在一定的量效关系, 随着反应物浓度的增加, 由酪蛋白制备的美拉德反应产物的还原力、·OH、DPPH·清除能力增加, 对脂质体过氧化的抑制率先增加后减小。在相同的反应物浓度下, 美拉德反应产物抗氧化性随反应时间的增加而增强。

**关键词:** 大豆分离蛋白; 酪蛋白; 还原糖; 美拉德反应产物; 抗氧化; 清除自由基

## Antioxidant Activities of Maillard Reaction Products of Protein and Reducing Sugar

XIANG Hui-dan, XU Shi-ying, WANG Zhang

(State Key Laboratory of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

**Abstract:** Maillard reaction products (MRPs) were prepared by heating casein, soy protein isolate and reducing sugars (glucose and lactose). The reducing power, inhibition against autooxidation of lecithin liposome system, radical (·OH and DPPH·) scavenging effect of the MRPs were investigated by the spectrometer. The results indicated that the MRPs of casein and reducing sugar possess higher reducing power, DPPH· radical scavenging activity, inhibition against autooxidation of lecithin liposome system than those of MRPs prepared from soy protein and reducing sugar. The antioxidant capacities are related to concentrations of MRPs and reaction time. The reducing power, ·OH and DPPH· radical scavenging activities of MRPs of casein and reducing sugar increase with reaction time prolonging. Whereas the inhibition rate against autooxidation of lecithin liposome system increases at first and then decreases. At the same reactant concentration the antioxidant capacities of MRPs increase with heating time prolonging.

**Key words:** soy protein isolate; casein; reducing sugar; Maillard reaction products; antioxidant ability; radical scavenging

中图分类号: TS201.2

文献标识码: A

文章编号: 1002-6630(2008)07-0052-06

自由基是人体组织中许多生化反应的中间代谢产物。在化学结构上, 自由基是指未配对电子的基团、分子或原子。人体在正常生理代谢过程中会产生少量的含氧自由基, 主要有氧自由基、氢自由基、有机自由基以及氮自由基等。这些自由基通过内源存在于体内的抗氧化酶及抗氧化剂等的作用而被消除, 因此, 在正常状态下, 体内自由基维持在一定水平并处于动态平衡之中, 并不表现出对组织、细胞功能的损伤。然而, 随着年龄的增长以及环境污染、电离辐射、化学毒物等因素, 体内的氧化还原动态平衡体系出现障碍, 从而引起体内的自由基过剩。自由基通过进攻蛋白质、核

酸、生物膜的脂质分子等夺取电子从而干扰体内正常的生化过程, 破坏正常细胞, 引起癌症、动脉硬化、高血压、关节僵硬等各种疾病。抗氧化剂是指能够清除自由基, 抑制或消除以及减缓氧化反应的一类物质。为了防止含油食品氧化变质, 一般均使用国家批准使用的抗氧化剂, 如BHA、BHT等<sup>[1]</sup>。目前大量研究的天然抗氧化活性物质(VE、VC、β-胡萝卜素、中药提取物), 常因高成本、不良风味、溶解分散性能差以及热、氧稳定性差等因素, 使其在应用上受到限制。

美拉德反应, 又称“非酶棕色化反应”, 主要是指还原糖与氨基酸、蛋白质之间的复杂反应, 广泛存

收稿日期: 2007-11-30

基金项目: “十一五”国家科技支撑计划项目(2006BAD27B04)

作者简介: 项惠丹(1985-), 女, 硕士研究生, 研究方向为功能性食品配料与添加剂。E-mail: huidan\_xiang@yahoo.cn

在于食品加工和贮藏中,对食品品质具有很大的影响。美拉德反应产物(Maillard reaction products, MRPs)含有一定的抗氧化活性物质,具有较大的开发应用潜力,越来越受到人们的重视<sup>[2]</sup>。利用蛋白质和还原糖类制备具有抗氧化作用的美拉德反应产物,来取代合成抗氧化剂,已成为国内外研究的热点。目前,已有不少学者主张制备 MRPs 加入食品体系或者应用热处理工艺促使食品形成 MRPs,从而提高产品抗氧化稳定性<sup>[3-4]</sup>。

本研究采用酪蛋白和大豆分离蛋白同还原糖发生美拉德反应,制备两种美拉德反应产物,初步考察了不同反应时间和反应物浓度条件对美拉德反应产物的抗氧化能力的影响。采用分光光度计法对美拉德反应产物进行抗氧化性能分析,因反应物起始浓度极低,其褐变程度不会影响实验结果,为美拉德反应产物作为一类新型抗氧化剂提供理论依据和应用价值。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

酪蛋白 中天实业有限公司;大豆分离蛋白 哈高科大豆食品有限公司;卵磷脂 华东师范大学化工厂;1,1-二苯基苦基苯肼(1,1-Diphenyl-2-picryl-hydrazyl, DPPH) Sigma 公司;葡萄糖、乳糖、硫代巴比妥酸、邻二氮菲、焦性没食子酸(邻苯三酚)、乙二氨四乙酸(EDTA)、2,6-二叔丁基对甲酚(BHT)、抗坏血酸(VC)均为化学纯。

### 1.2 仪器

722 型分光光度计 上海精密科学仪器有限公司;XW-80 旋涡振荡器 上海医科大学仪器厂;恒温水浴锅 上海医疗器械厂;800 型离心沉淀器 上海手术器械厂;色差计 日本佳能公司;pH 计 梅特勒-托利多公司。

### 1.3 美拉德反应产物制备

准确称取一定量葡萄糖和乳糖以质量比 1:1 溶解于 50ml 水中,备用。准确称取一定量蛋白质配制成一定浓度的溶液于一定温度下溶解,待完全溶解之后,转移至 250ml 三口烧瓶中,并逐滴加入糖溶液,蛋白质:还原糖质量比为 1:2。然后用 NaOH 溶液调节 pH 至碱性,在 105℃ 条件下恒温反应一定时间,得到美拉德反应产物(MRPs)。

### 1.4 测定方法

#### 1.4.1 美拉德反应褐变程度的测定

美拉德反应往往伴随着褐变现象,产生的一类物质称为类黑精,随着美拉德反应时间的增加,颜色也越来越深,通过在 420nm 测定不同加热时间的美拉德反应产物的吸光度来反映美拉德反应的褐变程度<sup>[5]</sup>。

#### 1.4.2 色差测定

打开色差计,预热 15min,调试后,将测试头放在待测样品上。准确吸取美拉德反应液 2.0ml,放在待测样品槽内,测定其 L、a\*、b\* 值。

#### 1.4.3 美拉德反应产物还原能力的测定

分别制备不同条件下的美拉德反应产物。取 1ml 样品于具塞试管中,加入 2.5ml 0.2mol/L、pH6.6 的磷酸盐缓冲液和 2.5ml 10%(W/V)的  $K_3Fe(CN)_6$  溶液并混合均匀,于 50℃ 保温 20min 后快速冷却,加入 2.5ml 10%(W/V)的三氯乙酸溶液,混合后以 3000r/min 离心 10min。取上清液 2.5ml,加入 2.5ml 蒸馏水和 1ml 0.1%(W/V)的  $FeCl_3$ ,混合均匀,静置 10min 后测定 700nm 处的吸光度,吸光度越大,样品的还原能力越强<sup>[6]</sup>。

#### 1.4.4 美拉德反应产物在卵磷脂脂质体中抗氧化活性的测定

制备不同反应条件下的美拉德反应产物和 0.5mg/ml 的 BHT 溶液,备用,以 BHT 作对照。在具塞试管中依次加入 1ml LLS、1ml 400  $\mu$ mol/L 三氯化铁溶液( $FeCl_3$ )、1ml 400  $\mu$ mol/L 抗坏血酸和 1ml 样品,混匀。避光于 37℃ 水浴 60min,再加入 2ml TCA-TBA-HCl 混合液,100℃ 水浴 15 min,迅速冷却,以 2000r/min 转速离心 10min,取上清液在 532 nm 测吸光度  $A_s$ ,空白管以 1ml 重蒸水代替 1ml 样品,操作方法同上,可测得空白管的吸光度  $A_c$ <sup>[7]</sup>。按下式计算样品对脂质体过氧化的抑制率:

$$\text{抑制率 } I(\%) = \frac{A_c - A_s}{A_c} \times 100$$

#### 1.4.5 美拉德反应产物清除 $\cdot OH$ 的测定

制备不同反应条件下的美拉德反应产物和 4mg/ml 的 VC 溶液,备用,以 VC 作对照。取 1ml 2.5mmol/L 邻二氮菲溶液于试管中,依次加入 2ml pH7.40 PBS 和 1ml 蒸馏水,充分混匀后,加入 1ml 2.5mmol/L 硫酸亚铁水溶液,混匀后,加入 20mmol/L 过氧化氢水溶液,于 37℃ 恒温水浴中准确反应 60min 后,在 536nm 快速测其吸光度,所得的数据为损伤管的吸光度  $A_{损}$ 。未损伤管以 1ml 蒸馏水代替损伤管中 1ml 20mmol/L 的双氧水,操作方法同损伤管,可测得 536nm 未损伤管的吸光度  $A_{未}$ 。样品管以 1ml 样品代替损伤管中的 1ml 蒸馏水,操作方法同损伤管,可测得 536nm 样品管的吸光度  $A_{样}$ <sup>[8]</sup>。样品对  $\cdot OH$  的清除率公式如下:

$$\text{清除率 } I(\%) = \frac{A_{样} - A_{损}}{A_{未} - A_{损}} \times 100$$

#### 1.4.6 美拉德反应产物清除 DPPH $\cdot$ 的测定

利用 DPPH 溶液的特征紫红色团的吸收峰,以分光光度法测定加抗氧化剂或植物提取液后  $A_{525nm}$  吸收的下

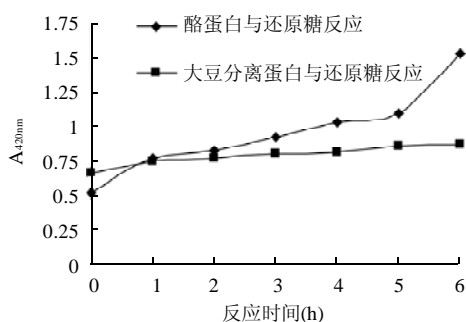
降表示其对有机自由基消除能力。用无水乙醇配制 0.1mmol/L DPPH 溶液, 避光保存。分别制备不同反应条件下的美拉德反应产物并稀释 3 倍和 VC 配成 0.5mg/ml 溶液, 备用, 以 VC 作对比。将 2ml 5mg/ml 样品及 2ml DPPH 溶液加入同一试管中, 摇匀, 室温下静置 30min 后测定其吸光度  $A_t$ , 同时测定 DPPH 溶液与 2ml 溶剂混合后的吸光度  $A_c$ , 以及 2ml 5mg/ml 样品与 2ml 溶剂混合后的吸光度  $A_b$ 。按照下式计算清除率, 清除率越大抗氧化能力越强<sup>[9]</sup>。

$$\text{清除率 } I(\%) = \frac{1 - (A_t - A_b)}{A_c} \times 100$$

## 2 结果与分析

### 2.1 美拉德反应褐变程度

图 1 描述了大豆分离蛋白和酪蛋白同还原糖产生美拉德反应的褐变程度与反应时间的关系。



反应物浓度为 4%。

图 1 美拉德反应褐变程度随反应时间变化

Fig.1 Changes in browning of MRPs during reaction process

从图 1 可以看出, 大豆分离蛋白同还原糖反应的产物吸光度变化不大; 酪蛋白与还原糖反应的产物的褐变较为明显。反应时间越短, 美拉德反应产物的颜色浅, 随着反应时间的延长, 吸光值增加, 溶液颜色逐渐加深, 表明形成了褐色的聚合体——类黑精。类黑精是美拉德反应中主要抗氧化成分。因为类黑精是一种以短肽和色素相结合的混合体, 美拉德反应时间越长, 有利于色素物质产生, 从而加深了反应产物的褐变程度。随着美拉德反应时间的延长, 产物的抗氧化能力也显著增强<sup>[10]</sup>。这可能是因为类黑精混合体中, 其短肽的氨基酸序列结构具有抗氧化肽的特征, 因而具有抗氧化活性。但当反应继续进行, 溶液呈棕褐色, 已无法测定吸光度。因此选定反应时间为 6 h。

### 2.2 美拉德反应色泽变化

非酶褐变反应比较复杂, 褐变产物也非常多。其焦糖化反应、美拉德反应主要经历三个阶段: 起始、

中间、最终阶段。反应产物比较复杂, 单一产物不易大量获得, 形成大量中间产物和聚合物。美拉德反应的色泽受温度、时间、pH 值、参加反应的化学成分等因素影响。其中反应时间和时间与美拉德反应的反应速率呈正相关。大豆分离蛋白和酪蛋白同还原糖产生美拉德反应的色泽变化程度见表 1。

表 1 美拉德反应产物的光亮值(L)、红值(a\*)、黄值(b\*)的随反应时间变化

Table 1 Development of color (L, a\*, b\*) of MRPs as reaction time

反应时间 (h)	酪蛋白与还原糖反应 <sup>△</sup>			大豆分离蛋白与还原糖反应 <sup>△△</sup>		
	L	a*	b*	L	a*	b*
0	22.60	-0.403	-0.14	33.12	-2.123	-1.23
1	17.88	0.735	2.06	32.46	-1.375	0.32
2	17.94	0.747	1.67	33.33	1.023	3.27
3	17.95	0.753	1.50	32.21	0.755	5.16
4	17.61	0.776	1.37	30.74	0.867	5.05
5	17.41	0.767	1.30	29.36	1.257	5.19
6	17.84	0.738	1.28	27.34	1.032	5.31

注: <sup>△</sup>表示反应温度 105℃, 反应物浓度 4%; <sup>△△</sup>表示反应温度 95℃, 反应物浓度 4%。

从表 1 可以看出, 酪蛋白与还原糖反应产物随着反应时间的延长, L 值减小, a\* 值、b\* 值先增大后减小; 大豆分离蛋白与还原糖反应产物随着反应时间的延长, L 值增加, a\* 值、b\* 值增大, 比大豆分离蛋白与还原糖反应小。根据文献, 酪蛋白与还原糖反应过程中产生的类黑精和色素越多, 其褐变严重, 表现为 a\* 值、b\* 值增大, L 值减小。说明高温加速了分子间的相互作用, 聚合物色素的生成, 造成色泽指标的下降。因此, 可以通过美拉德反应产物的色差变化, 定性判断美拉德反应中色素发生聚合产生深色物质的程度。

### 2.3 美拉德反应产物的还原能力

美拉德反应产物抗氧化效果与还原力密切相关。还原能力的测定是以样品是否为良好的电子供体为指标。还原能力大的样品是良好的电子供体, 其供应的电子不仅能使  $\text{Fe}^{3+}$  还原成  $\text{Fe}^{2+}$ , 同时能与自由基反应, 使自由

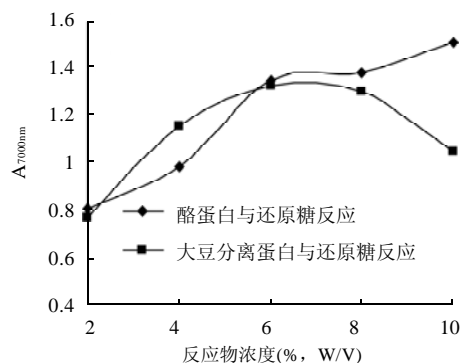


图 2 美拉德反应产物的还原力

Fig.2 Reducing power of MRPs at different levels of concentration

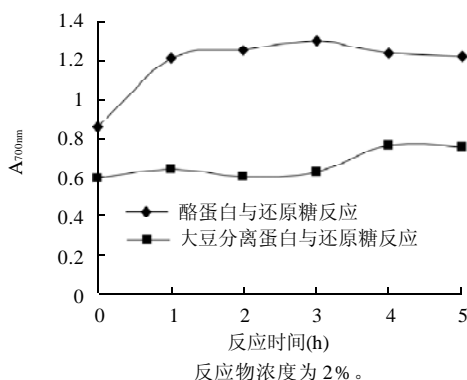


图3 美拉德反应还原力随时间变化

Fig.3 Changes in reducing power of MRPs during reaction process

基成为较为稳定的物质,从而中断自由基连锁反应<sup>[11]</sup>,在700nm处吸光度越大表明样品的还原力越强。美拉德反应产物的还原能力测定结果见图2、3。

由图2结果可知,大豆分离蛋白与还原糖反应制备得到MRPs还原力的大小随着反应物浓度的增加呈先增加后减小,而酪蛋白与还原糖反应得到的MRPs的还原力随着反应物浓度增加而增加。从图3可以看出,美拉德反应产物有较好的还原能力,并且还原能力均随着美拉德反应时间的增加而提高,表明美拉德反应产物的抗氧化能力随着反应时间的增加而增强,酪蛋白与还原糖反应达到1h之后,还原能力变化不大,而大豆分离蛋白与还原糖反应达4h时,其还原力达到最大,美拉德反应产物的还原力主要源于还原酮类物质,随着反应时间进一步增加,还原能力有所下降,这主要是加热反应使一些还原性物质分解所造成的<sup>[12]</sup>。当美拉德反应起始浓度相同时,酪蛋白与还原糖反应的MRPs的还原力明显高于大豆分离蛋白与还原糖反应的MRPs。

#### 2.4 美拉德反应产物在卵磷脂脂质体中的抗氧化活性

卵磷脂通常被用作细胞模型而进行体外的脂质过氧化的研究,卵磷脂体系中的抗氧化性的测定通常采用硫代巴比妥酸(TBA)法。卵磷脂中的不饱和脂肪酸在铁离子的催化作用下,经振荡能发生过氧化,由此可以建立以铁离子诱发卵磷脂的氧化模型,用以评价美拉德反应产物样品的抗氧化活性<sup>[13]</sup>。

本实验采用的由 $\text{Fe}^{2+}$ 引发的卵磷脂脂质体体系中,MRPs表现出相当的抗氧化能力。由表2看出,在美拉

表2 美拉德反应产物对脂质体过氧化的抑制率(%)

Table 2 Inhibitory rate of MRPs against autooxidation of lecithin liposome system (%)

美拉德反应	反应物浓度(%, W/V)					BHT 0.5mg/ml
	2	4	6	8	10	
酪蛋白与还原糖反应	39.03	45.34	53.78	52.55	50.28	69.64
大豆分离蛋白与还原糖反应	37.53	39.44	42.23	40.33	40.09	69.64

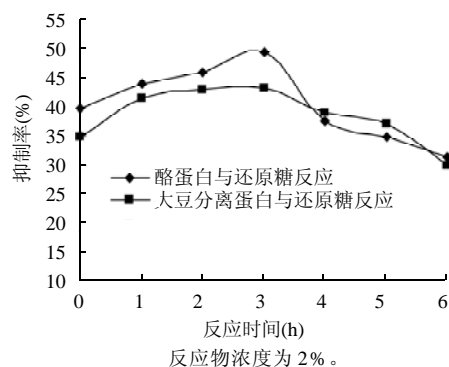


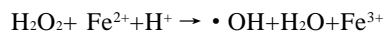
图4 美拉德反应产物对脂质体抗氧化能力随时间变化

Fig.4 Changes in antioxidant activity of MRPs against lecithin liposome system with reaction time

德反应起始浓度为6%(W/V)时,由酪蛋白制得的MRPs对脂质体过氧化的抑制率可达53.78%,大豆分离蛋白制得的MRPs的抑制率也达到理想效果。与0.5mg/ml的BHT溶液相比,BHT对脂质体过氧化的抑制率达到了69.64%,所以美拉德反应产物的抑制率稍低于BHT。由图4可知,在实验所测的浓度范围内,美拉德反应产物能够抑制由 $\text{Fe}^{2+}$ 引发的卵磷脂PBS分散体系过氧化。随美拉德反应时间的延长,抑制率先增加后减小,反应时间达到3h时,效果最佳。美拉德反应产物含有类黑精,其中的短肽含有支链氨基酸,具有很强的抗氧化作用,因为这类肽N-末端的疏水性氨基酸可促进肽与脂肪酸相互作用,提高其对脂质自由基的捕捉能力,从而起到抗氧化作用。脂质体过氧化的抑制率随美拉德反应物浓度的升高而升高,在反应物浓度过低时,也会促进体系的过氧化的发生。可能是因为油脂反应系统所衍生出来的过氧化物、自由基,也都会造成油脂的连锁反应,进而促进油脂的氧化<sup>[13]</sup>。

#### 2.5 美拉德反应产物对 $\cdot\text{OH}$ 的清除作用

羟基自由基( $\cdot\text{OH}$ )清除率是反映物质抗氧化作用的重要指标。 $\cdot\text{OH}$ 在其氧原子上含有一个未配对电子,夺取电子的能力很强,是体内最活泼的活性氧,可导致许多病理变化。在过渡金属离子催化作用下,过氧化氢可发生均裂产生羟自由基( $\cdot\text{OH}$ ),反应式如下:

表3 美拉德反应产物对 $\cdot\text{OH}$ 的清除率(%)Table 3 Scavenging effect of MRPs against  $\cdot\text{OH}$  (%)

美拉德反应	反应物浓度(%, W/V)					VC 4mg/ml
	2	4	6	8	10	
酪蛋白与还原糖反应	53.23	55.63	63.57	83.01	93.17	80.01
大豆分离蛋白与还原糖反应	42.10	45.95	46.23	54.64	65.32	80.01

分别取不同的美拉德反应产物和VC 4mg/ml的溶液,测定其对 $\cdot\text{OH}$ 的清除能力,结果见表3和图5。

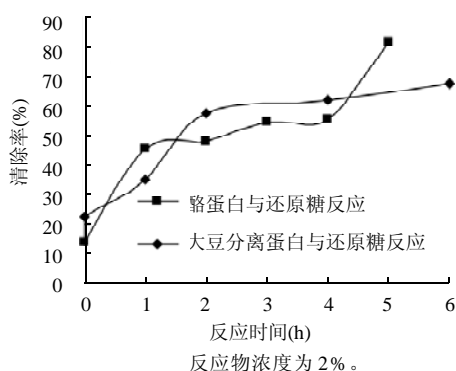


图5 美拉德反应产物清除·OH能力随时间变化

Fig.5 Scavenging effects of MRPs against ·OH radical with reaction time

从表3可以看出,由酪蛋白质、大豆分离蛋白与还原糖反应得到的美拉德反应产物都具有对羟基自由基的清除能力,且其抗氧化活性随着反应产物起始浓度的升高而增强,反应物起始浓度越大,清除自由基的抗氧化活性越强。当酪蛋白与还原糖反应的起始浓度达到8%(W/V)时,样品的清除羟基自由基的效果已经接近于VC对羟基自由基的清除能力(80.10%),大豆分离蛋白与还原糖反应的·OH清除能力也较高。从图5可以看出,当起始反应浓度为2%(W/V)时,美拉德反应产物的·OH清除率都随着反应时间的延长而增强。当反应时间达2h时,酪蛋白与还原糖反应的MRPs对·OH清除率变化不明显,而大豆蛋白同还原糖反应达到4h时,其MRPs清除·OH的能力增强。美拉德反应产物在发挥抗氧化作用时,可能是因为作为氢供体外,本身也是金属螯合剂,能够螯合 $\text{Fe}^{2+}$ ,所以MRPs具有较强的羟基自由基清除能力,还可能与其螯合 $\text{Fe}^{2+}$ 有关<sup>[14]</sup>。

## 2.6 美拉德反应产物清除DPPH·的作用

DPPH·是一种稳定的自由基,其乙醇溶液显紫色,在517nm处有最大吸收,当有自由基清除剂存在时,DPPH·的单电子由于被配对,DPPH·浓度减小而使其颜色变浅,在517nm波长处的吸光度变小,这种颜色变浅的程度与配对电子数成化学计量关系,因而可用分光光度法进行定量分析<sup>[15]</sup>。清除剂直接作用于DPPH·自由基,反应时间较短,操作简单。两种蛋白质与还原糖反应得到的美拉德反应产物对DPPH·的清除作用如表4和图6所示。

由表4可知,MRPs具有清除DPPH·的作用,其

表4 美拉德反应产物对DPPH·的清除率(%)

Table 4 Scavenging effects of MRPs against DPPH·(%)

美拉德反应	反应物浓度(%, W/V)					VC 0.5mg/ml
	2	4	6	8	10	
酪蛋白与还原糖反应	58.05	72.88	79.23	81.56	82.54	79.23
大豆分离蛋白与还原糖反应	32.59	34.98	36.23	43.72	45.86	79.23

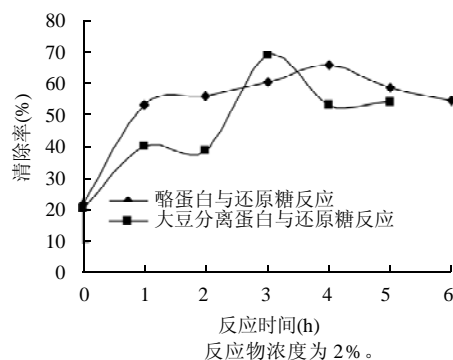


图6 美拉德反应产物对DPPH·的抗氧化效果随时间变化

Fig.6 Scavenging effects of MRPs against DPPH· with reaction time

清除率随着反应物浓度的升高而增加,当酪蛋白与还原糖反应物浓度达到6%(W/V),其清除DPPH·能力与0.5mg/ml的VC(79.23%)相当。从图6结果可以看出,当反应物浓度为2%(W/V)时,酪蛋白与还原糖反应制得的MRPs清除DPPH·的能力随着时间的延长而增强。大豆分离蛋白与还原糖反应时间达到3h时,其反应产物的DPPH·清除率达到最高,而由酪蛋白制得的MRPs对DPPH·清除能力在反应时间达到1h后变化不很明显。因而MRPs的抗氧化性与反应条件存在一定的关系,在同一浓度下酪蛋白与还原糖反应得到的MRPs的DPPH·清除率要好于大豆分离蛋白与还原糖制得的MRPs,而且反应物起始浓度越大,抗氧化效果越好。美拉德反应达到一定时间,美拉德反应中间产物与氨基化合物进行醛基-氨基反应最终生成类黑精,其短肽含有抗氧化活性的支链氨基酸,而且在产生类黑精的同时,有一系列的美拉德反应中间体——还原酮类物质及杂环类化合物生成,这些产物也具有抗氧化等活性<sup>[16]</sup>。

## 3 结论

采用酪蛋白和大豆分离蛋白两种蛋白质与还原糖发生美拉德反应制备MRPs,两种MRPs都表现出了较好的抗氧化能力。两种MRPs的抗氧化能力与反应物浓度和反应时间有较好的量效关系。在相同的反应时间下,由大豆分离蛋白制备的MRPs的还原力、对脂质体过氧化的抑制能力、自由基清除能力略低于酪蛋白与还原糖反应的MRPs。在相同的反应物浓度下,美拉德反应产物的抗氧化能力随着反应时间的增加而增强。

美拉德反应产物的抗氧化能力不完全依赖于产物的褐变程度。美拉德反应是一个复杂的反应体系,MRPs的抗氧化能力受多种因素控制,MRPs的具体组成、结构和性质等依然尚未十分清楚,对其中的抗氧化物质和抗氧化机理也有待于进一步研究。

## 参考文献:

- [1] 凌关庭. 抗氧化食品与健康[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004.
- [2] JING H, KITTS D D. Chemical and biochemical properties of casein-sugar Maillard reaction products [J]. Food and Chemical Toxicology, 2002, 40: 1007-1015.
- [3] YEBOAH F K, ALLI I, YAYLAYAN V A. Reactivities of D-glucose and D-fructose during glycation of bovine serum albumin [J]. J of Agric Food Chem, 1999, 47:3164-3172.
- [4] MORALES F J. Assessing the non-specific hydroxyl radical scavenging properties of melanoidins in a Fenton-type reaction system [J]. Analytica Chimica Acta, 2005, 534: 171-176.
- [5] CALLIGARIS S, MANZOCCO L, ANESE M, et al. Effect of heat-treatment on the antioxidant and pro-oxidant activity of milk [J]. International Dairy Journal, 2004, 14: 421-427.
- [6] AJANDOUZ E H, TCHIAKPE L S, ORE F D, et al. Effects of pH on caramelization and Maillard reaction kinetics in fructose-lysine model systems [J]. J of Food Science, 2001, 66: 926-931.
- [5] SUMAYA-MARTINEZ M T, THOMAS S, LINARD B, et al. Effect of Maillard reaction conditions on browning and antiradical activity of sugar-tuna stomach hydrolysate model system [J]. Food Research International, 2005, 38: 1045-1050.
- [6] DORMAN H J D, KOSAR M, KAHLOS K, et al. Antioxidant properties and composition of aqueous extracts from *Mentha* species, hybrids, varieties, and cultivars [J]. J of Agric Food Chem, 2003, 51(16): 4563-4569.
- [7] Y YILMAZ, R TOLEDO. Antioxidant activity of water-soluble Maillard reaction products [J]. Food Chem, 2005, 93: 273-278.
- [8] 翟爱华, 赵明生. 麦胚黄酮在不同氧化体系中的抗氧化作用的研究 [J]. 黑龙江八一农垦大学学报, 2004, 16(1): 79-82.
- [9] SINGH N, RAGINI P S. Free radical scavenging activity of an aqueous extract of potato peel [J]. Food Chemistry, 2004, 85: 611-616.
- [10] YEN G C, CHAU C F, LII D J. Isolation and characterization of most antimutagenic Maillard reaction products derived from xilose and lysine [J]. Food Chemistry, 1993, 41: 771-776.
- [11] TEN G C, CHEN H Y. Antioxidant activity of various tea extracts in relation to their antimutagenicity [J]. J Agric Food Chem, 1995, 43(1): 27-32.
- [12] 王延平, 赵谋明, 彭志英, 等. 美拉德反应产物抗氧化性能研究进展 [J]. 食品与发酵工业, 1997, 24(1): 70-73.
- [13] 莫凤奎, 朱澄云. VE和VC对大豆卵磷脂脂质体的抗氧化作用[J]. 中国药物化学杂志, 1997, 7(2): 121-124.
- [14] YOSHIMURA Y, IJIMA T, WATANABE T. Antioxidative effect of Maillard reaction products using glucose-glycine model [J]. Journal of Agric Food Chem, 1997, 45: 4106-4109.
- [15] LU Y R, YEAP FOO L. Antioxidant activities of polyphenols from sage (*Salvia officinalis*) [J]. Food Chem, 2001(2): 197-202.
- [16] 马志玲, 王延平, 吴京洪. 模式美拉德反应产物抗氧化性能的研究 [J]. 中国油脂, 2002, 27(4): 68-71.