

美拉德反应所引起的 食品安全问题的研究进展

曾稳稳^{1,2}, 刘玉环^{1,2}, 阮榕生^{1,2,*}, 王允圃^{1,2}, 杨柳^{1,2}, 刘成梅¹, 彭红^{1,2}

(1.南昌大学食品科学与技术国家重点实验室, 江西南昌 330047;

2.南昌大学生物质转化教育部工程研究中心, 江西南昌 330047)

摘要: 美拉德反应赋予了食品独特的风味, 至今被用于食品加工工业, 但是近二十年的研究发现美拉德反应也会产生许多对人体有害的化学物质。对美拉德反应产物中有毒物质的研究现状进行了综述, 以及在参考国外做法的基础上倡议相关部门制定相应的检测和最高含量的限制标准, 并对食品工业今后的发展做出了展望。

关键词: 美拉德反应, 美拉德反应产物, 有毒物质

Research progress in food safety issue caused by Maillard reaction

ZENG Wen-wen^{1,2}, LIU Yu-huan^{1,2}, RUAN Rong-sheng^{1,2,*},
WANG Yun-pu^{1,2}, YANG Liu^{1,2}, LIU Cheng-mei¹, PENG Hong^{1,2}

(1.The State Key Laboratory of Food Science and Technology, Nanchang University, Nanchang 330047, China;

2.The Engineering Research Center for Biomass Conversion, Nanchang University, Nanchang 330047, China)

Abstract: Maillard reaction make a great contribute to the flavor of food, and it has so far been used in food processing industries. But the last two decades of research revealed the Maillard reaction generated a lot of harmful substances. The study of toxic substances which produced in Maillard reaction was reviewed. And in reference to foreign practices, some standards of corresponding detection and of limits for the highest levels were hoped to make by the relevant department, a prospect of the food industry for future development was also given.

Key words: Maillard reaction; Maillard reaction products; toxic substances

中图分类号: TS201.2

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2011)07-0447-05

美拉德(Maillard)反应是氨基化合物(氨基酸、肽和蛋白质)与羰基化合物(糖类)在食品加工和储藏过程中自然发生的反应, 由法国著名科学家 L.C.Maillard 于 1912 年发现。该反应主要有三个阶段: 起始阶段: 醛糖与氨基化合物进行缩合反应形成席夫碱(Schiff-base), 再经环化形成相应的 N-取代醛糖基胺, 经 Amadori 重排形成 Amadori 化合物(1-氨基-1-脱氧-2-酮糖)。中间阶段: Amadori 化合物在中间阶段进行的反应, 主要有三条路线: 一是在酸性条件下进行 1,2-烯醇化反应生成羟甲基呋喃醛或呋喃醛; 二是碱性条件下进行的 2,3-烯醇化反应, 产生还原酮类及脱氢还原酮类; 三是继续进行裂解反应形成含羰基或双羰基化合物, 以进行最后阶段反应, 或与氨基进行 Strecker 分解反应产生

Strecker 醛类。最终阶段: 此阶段反应相当复杂, 其反应机制尚不清楚, 中间阶段产物与氨基化合物进行醛基-氨基反应最终生成类黑精。美拉德反应产物除终产物类黑精外, 还有一系列美拉德反应的中间体——还原酮及挥发性杂环化合物, 这些反应产物比较复杂, 而单一产物不易大量获得, 所以大多数研究者只局限于混合的美拉德反应产物的抗氧化、抗突变方面的研究^[1-3], 而且大都是关于美拉德反应产物正面效果的研究, 很少关注它对食品安全所带来的负面影响。本文综述了近些年来受到重视的几种有害的美拉德反应产物, 及其它对人体健康危害的研究, 希望引起人们对这些有害物质的关注, 并能采取进一步措施来抑制美拉德反应中有害物质的产生。

1 美拉德反应产物

1.1 呋喃

自从发现了富含碳水化合物的熟食品中形成的丙烯酰胺是一种潜在的致癌物质后, 对热加工食品中一些化学污染物的探究才开始受到重视^[4], 此后热加工食品中的许多有毒物质被检测出来, 如呋喃。呋喃是一种挥发性的无色液体, 应用于化学品制造

收稿日期: 2010-08-13 * 通讯联系人

作者简介: 曾稳稳(1987-), 男, 硕士研究生, 研究方向: 食物(含生物)资源开发与利用。

基金项目: 江西省自然科学基金项目(2008GZH0047); 江西省产业化关键技术攻关项目(2007BN12100); 长江学者创新团队发展计划(IRT0540)。

业。它存在于各种热加工后的食品中,如咖啡及罐头食品^[5]。欧洲食品安全委员会(EFSA)已经证实呋喃对小鼠和大鼠具有明显的致癌性,而且有证据表明呋喃引起的致癌性还具有可遗传性^[6]。Elif Karacaoğlu 等人设计了一项实验旨在研究呋喃对雄鼠生殖系统的影响,给3~4周大的老鼠按照2、4、8mg/(kg·d)的剂量口服呋喃90d,然后对其血液、重量、组织和生殖器官、血清促黄体激素和睾酮水平、精子数和睾丸细胞凋亡情况进行了评价。结果发现经过呋喃处理的老鼠中血液的各项参数发生轻微变化,促黄体激素和睾丸激素水平下降,呋喃服用量最高的一组其精囊的重量明显减轻而前列腺的重量显著增加。对老鼠组织进行检查显示,呋喃造成睾丸、附睾和前列腺的损伤;另一方面,在睾丸中细胞凋亡数显著增加。根据形态计量学的检测,服用呋喃的老鼠上皮高度和生殖器官管腔直径已经发生改变。这些结果表明,呋喃对雄性生殖系统具有毒性^[7]。虽然还没有研究表明它对人体会造成相同的伤害,但是这一研究结果足以引起重视。

日常饮食中,人体很容易摄入呋喃类物质,因为食品在热加工和烹饪的过程中会发生非酶褐变反应,其中碳水化合物发生热降解以及重排,即使是几种简单的物质组合在一起也会产生大量的呋喃类化合物,如丝氨酸、苏氨酸和蔗糖混合后加热,产物中就能检测出350多种呋喃类物质^[8]。Yaylayan 等人通过模拟美拉德反应体系并从产物中检测到呋喃,当乙醇醛和L-丙氨酸混合时产物中呋喃含量最高,其次是丝氨酸与蔗糖或核糖一起加热时能产生30%的呋喃,当丝氨酸与果糖或葡萄糖混合加热时能产生约10%~15%的呋喃。原子标记法显示丝氨酸以及葡萄糖都参与了呋喃的形成^[9]。橙汁加热到沸腾5min就能产生1.4ng/mL的呋喃,而高压蒸汽法在121℃加热25min能产生更多的呋喃^[10]。由于呋喃具有致癌性并可能与遗传毒性机理有密切关系^[6],因此食品中的呋喃含量应该达到尽可能低的水平,这需要政府相关部门出台相应的限制政策,让食品更加健康、安全。

1.2 羟甲基糠醛

食品加工或烹调后会自然地形成5-羟甲基糠醛,一些含水量低并且富含淀粉和糖的食物经过热处理后会成倍地生成羟甲基糠醛^[11]。它普遍存在于西方的各种食品中^[12]。根据挪威的调查显示,咖啡被确定为羟甲基糠醛的最重要来源(占63%),这有两个原因,一是因为咖啡中强甲基糠醛的含量很高;另一方面是西方人摄入的咖啡量大^[13]。5-羟甲基糠醛已经被证实能损害老鼠的DNA,诱发并促进大鼠的结肠癌和引起中毒性肾损害^[14-15]。而且Teubner 等人经过研究认为,相对于老鼠来说,人对5-羟甲基糠醛更加敏感^[16],也就是说对人体的损害更大。5-羟甲基糠醛可经过代谢形成5-硫代甲氧基糠醛^[16],有研究已经证实5-硫代甲氧基糠醛对细菌和哺乳动物细胞具有损伤基因及诱发突变的效应,因为这种活性中间体与细胞核中的几种重要物质(DNA、RNA和

蛋白质等)会发生相互作用,可能对这些大分子物质造成结构性损害,从而具有致毒性和致突变性^[17]。

1.3 丙烯酰胺

丙烯酰胺(Acrylamide)可导致神经、基因和生殖系统损伤,并有潜在的致癌性^[18-19]。它在肝微粒体细胞色素P450 2E1作用下氧化成环氧丙烯酰胺,后者具有烷基化作用,能与体内DNA上的鸟嘌呤或其他大分子物质结合,产生致突变作用^[20-21]。在食品焙烤过程中丙烯酰胺的形成受到众多学者的研究,目的是为了更好地了解反应的机理,来预测和控制它的产生。丙烯酰胺形成于还原糖和天冬酰胺的缩合反应,也就是美拉德反应的第一阶段^[22],它的形成与烘焙温度、时间、天冬酰胺和还原糖的含量密切相关,在120~130℃时开始形成,因此一般只存在于烘焙食品的表皮^[23-24]。有研究表明氨基酸在特殊的条件下(碱性、低含水量)通过strecker反应发生降解,然后进一步与美拉德反应产物和肉中的肌酸酐发生反应形成杂环胺^[25],当氨基酸为天冬酰胺时,会和羰基化合物反应形成丙烯酰胺^[26]。土豆、谷物和咖啡中含有大量的游离天冬酰胺,这就解释了为什么这些食品经过油炸、烹饪和焙烤之后含有大量的丙烯酰胺。2002年Tareke 等人在烹调过的富含碳水化合物的食品中发现大量的丙烯酰胺(150~4000μg/kg)^[27],饼干中丙烯酰胺的平均含量约为150~229μg/kg^[28]。

为了降低这种有毒物质在焙烤食品中的含量,一些学者提出了自己的想法,比如用蔗糖代替还原糖,用碳酸氢钠盐代替碳酸氢铵盐作为膨化剂,添加天冬酰胺酶,采用蒸汽法并且降低温度^[23 28-30]。

1.4 糖基化终产物

糖基化终产物(AGEs)是体内美拉德反应中碳水化合物与蛋白质发生的不可逆反应所产生的,这些糖基化终产物包括嘧啶、吡咯、吡嗪、咪唑、萘啶氯化物及它们的复合物,它们或游离存在或结合到蛋白质等其他生物分子上^[31]。AGEs被证明可以引起氧化性应激和毒害神经元细胞^[32-33],降低线粒体的活力从而导致能量衰竭^[34],它还能引发炎症^[35]。Shun-Yao Ko 等人认为糖基化终产物是老年痴呆性疾病发病机制的重要因素之一^[36]。Verzar 第一次明确地证实了糖基化作用会促使结缔组织的老化^[37],实验结果表明,腱(胶原纤维)的拉伸强度随年龄呈几何数增长。自从这些早期的发现之后,很多学者对糖基化终产物的产生以及它们在组织老化中所起的作用做了大量的研究^[38]。Péterszegi G 把在体外制备的糖基化终产物以很低的量添加到培养的成纤维细胞中时能直接导致该细胞的死亡^[39]。L.Robert 的研究表明,两种糖基化终产物能显著地增加细胞的死亡数和引起细胞增殖,还能增加人皮肤成纤维细胞中弹性蛋白酶类内肽酶的表达,而这种酶跟老化有直接关系^[40]。

因为这些糖基化终产物不仅来自于组织中的糖化,还来自日常饮食^[41],所以在组织中的含量会随着时间的增加。为了降低体内AGEs的含量,应该养成健康的生活习惯,包括减少发生美拉德反应食品的

摄入。

美拉德反应在食品加工中随处可见,而美拉德反应会产生大量对人体有害的物质,则对这些有害物质的含量应该制定限制性标准,为广大消费者和全民的健康考虑。欧洲已经开始制定相应的标准,而国内还没有开始实施。

2 欧洲标准

食物成分与热加工过程中添加的物质发生相互作用会引发复杂的氧化和糖化反应,同时形成风味物质与新的有机污染物(NFC)。欧洲委员会建议对市场食品中主要的NFC物质(例如丙烯酰胺和呋喃)进行监测,另一方面,欧洲标准化委员会(CEN)最近已经建立了新工作组(WG13),负责NFC评估分析方法的标准化。欧洲联合研究组ICARE已经展开了工作,明确人体摄入热加工食品后对健康带来的可能影响,探明NFC形成的反应动力学,对CIAA推出的减缓污染的操作流程进行评估,并基于对加工后食品成分的荧光分析和对光谱信息进行的化学计量学研究,最终开发出一个简单、快速、无破坏性的控制方法^[42]。除了丙烯酰胺和呋喃有推荐摄入量之外,目前并没有制定出关于对人体有害的美拉德反应产物的摄入量规定。许多现存的关于食品热加工后产生的有毒物质的规定,都是关于油脂热降解的产物,如反式脂肪酸,它在食品中的浓度限值为总脂肪酸的2%。欧洲油脂工业联盟规定多环芳香烃的总含量不能超过25ppb,这种多环芳香烃产生于种子提油前的干燥过程,菜油中的苯并芘含量不能超过1ppb。现在有许多的国家正在讨论需不需要对食品中丙烯酰胺的量进行规定,尤其是德国、挪威和瑞典,但是还没有做出决定,唯一的一项是关于引用水中丙烯酰胺量的限制条例,而这类丙烯酰胺是作为处理剂添加到水中的多聚丙烯酰胺降解后形成的^[42]。

3 美拉德反应产物去除方法——改变食品的热加工方式

尽管排尿系统能够有效地排出摄入的大部分美拉德反应产物^[43],但是一些摄入的美拉德反应产物能在体内的某些器官中堆积^[44],所以有必要从工艺学角度上去了解不同的加热操作对美拉德反应产物形成的影响,要让带给我们美好感官享受的反应进行的同时又要减少有毒物质的形成。微波加热和电阻加热被认为是最具应用前景的替代技术,尤其是在牛奶热加工工艺上,尽管这两种技术在农产品加工中的应用还很少,主要是因为缺少技术转让,有学者评价了这种替代技术的可行性,得到的却是有争议的结果^[45]。电阻加热是一种新出现的热加工技术,可以达到与传统工艺一样的蒸煮灭菌效果,还不引起非酶褐变反应^[46]。但是还必须克服技术上的一些障碍,如食品残余物粘附在电极上,这样产生的电阻会引发美拉德反应^[47],与传统热加工工艺相比,电阻热加工的最大优点在于它不会在食品的内部产生热梯度,依靠在牛奶中流通的电流而产生热量,发热量与电压和液体的导电率成正比。由于电能良好

的导电介质中可以迅速地转变为热能,所以可以很方便地对产品进行加热和冷却^[48]。

目前适当降低热加工的温度以大幅度消减有害产物的产生可能是食品工业的一个可行的选择。曾哲灵等通过实验表明,在80℃以下,蜂蜜加工过程中糠醛含量显著低于80℃以上的处理^[49]。食品非热加工也是今后食品工业发展的一个重要方向^[50-51]。

4 结语

美拉德反应对食品独特风味的形成有很大的贡献,迄今被用于食品加工工业。但是近二十年来的研究揭示,美拉德反应同时也产生了许多对人体有害的化学物质,其对人体健康的危害性不容忽视。为此我们应当加强对美拉德反应产物的生物可利用性和毒理学评估的研究,为食品工业制定相关的明确规定,迫使食品企业考虑在尽量低的温度下对食品进行适度的加工,努力发展食品非热加工,而不是不顾消费者的健康,盲目追求食品风味。

参考文献

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] 项惠丹, 许时婴, 王璋. 蛋白质与还原糖美拉德反应产物的抗氧化活性[J]. 食品科学, 2008, 29(7): 52-57.
- [4] GLATT H, SCHNEIDER H, LIU Y. V79-hCYPY1-hSULT 1A1, a cell line for the sensitive detection of genotoxic effects induced by carbohydrate pyrolysis products and other food-borne chemicals[J]. Mutat Res, 2005, 580: 41-52.
- [5] YAYLAYAN V A. Precursors, formation and determination of furan in foods[J]. J Verbrauch Lebensm, 2006(1): 5-9.
- [6] EFSA. Report of the Scientific Panel on Contaminants in the Food Chain on provisional findings of furan in food[R]. EFSA Journal, 2004, 137: 1-20.
- [7] ELIF KARACAOĞLU, GÜLDENİZ SELMANOĞLU. Effects of heat-induced food contaminant furan on reproductive system of male rats from weaning through postpuberty[J]. Food and Chemical Toxicology, 2010, 48: 1293-1301.
- [8] BALTE W, BOCHMANN G. Reaction of serine and threonine with sucrose under the conditions of coffee roasting and identification of new coffee aroma compounds[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1987, 35(3): 340-346.
- [9] PEREZ LOCAS C P, YAYLAYAN V A. Origin and mechanistic pathways of formation of the parent furan—a food toxicant[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2004, 52(22): 6830-6836.
- [10] FAN X. Impact of ionizing radiation and thermal treatments on furan levels in fruit juice[J]. Journal of Food Science, 2004, 70(7): 409-414.
- [11] MORALES F J. Hydroxymethylfurfural (HMF) and related compounds[J]. // Stadler, Richard H, Lineback, David R. (Eds.),

Process-Induced Food Toxicants. John Wiley & Sons ,Inc ,2009: 135-174.

[12] HUSØY T ,HAUGEN M ,MURKOVIC M. Dietary exposure to 5-hydroxymethylfurfural from Norwegian food and correlations with urine metabolites of short-term exposure [J]. Food Chem Toxicol 2008 ,46: 3697-3702.

[13] LOUISE J K ,et al. Evaluation of the DNA damaging effect of the heat-induced food toxicant 5-hydroxymethylfurfural (HMF) in various cell lines with different activities of sulfotransferases [J]. Food and Chemical Toxicology 2009 ,47: 880-884.

[14] BAKHIYA N ,MONIEN B ,FRANK H ,et al. Renal organic anion transporters OAT1 and OAT3 mediate the cellular accumulation of 5-sulfooxymethylfurfural ,a reactive nephrotoxic metabolite of the Maillard product 5-hydroxymethylfurfural [J]. Biochem Pharmacol 2009 ,78: 414-419.

[15] TEUBNER W ,MEINL W ,FLORIAN S ,et al. Identification and localization of soluble sulfotransferases in the human gastrointestinal tract [J]. Biochem J 2007 ,404: 207-215.

[16] GEMA ARRIBAS-LORENZO ,FRANCISCO J MORALES. Estimation of dietary intake of 5-hydroxymethylfurfural and related substances from coffee to Spanish population [J]. Food and Chemical Toxicology 2010 ,48: 644-649.

[17] GLATT HR ,SOMMER Y. Health risks by 5-hydroxymethylfurfural (HMF) and related compounds [J]. In: Skog K ,Alexander J ,editors. Acrylamide and other health hazardous compounds in heat-treated foods. Cambridge: Woodhead Publishing; 2006: 328-57.

[18] KERRY L DEARFIELD ,GEORGE R DOUGLAS ,UDO H EHLING ,et al. Acrylamide: a review of its genotoxicity and an assessment of heritable genetic risk [J]. Mutat Res ,1995 ,330 (1-2): 71-99.

[19] MARVIN A FRIEDMAN ,LINDA H DULAK ,MICHAEL A STEDHAM. A lifetime oncogenicity study in rats with acrylamide [J]. Fundam Appl Toxicol ,1995 ,27(1): 95-105.

[20] GRACE C TONG ,WILLIAM K CORNWELL ,GARY E MEANS. Reactions of acrylamide with glutathione and serum albumin [J]. Toxicol Lett 2004 ,147: 127-131.

[21] 张根义. 热加工食品中丙烯酰胺的形成机理和风险分析 [J]. 无锡轻工大学学报 2003 ,22(4): 91-99.

[22] DE VLEESCHOUWER K ,VAN DER PLANCKEN I ,VAN LOEY A ,et al. Modelling acrylamide changes in foods: from single-response empirical to multiresponse mechanistic approaches [J]. Trends in Food Science and Technology 2009 ,20(3-4): 155-167.

[23] Ahrne L ,Andersson C G ,Floberg F ,et al. Effect of crust temperature and water content on acrylamide formation during baking of white bread steam and falling temperature baking [J]. Food Science and Technology 2007 ,40(10): 1708-1715.

[24] BRATHEN E ,KNUTSEN S H. Effect of temperature and time on the formation of acrylamide in starch-based and cereal model systems flat breads and bread [J]. Food Chemistry 2005 ,92 (4): 693-700.

[25] CHENG K-W ,FENG C ,MINGFU W. Heterocyclic amines

chemistry and health [J]. Mol Nutr Food Res 2006 ,50: 1150-70.

[26] MOTTRAM DS ,WEDZICHA BL ,DODSON AT. Food chemistry: acrylamide is formed in the Maillard reaction [J]. Nature 2002 ,419: 448-449.

[27] TAREKE E ,RYDBERG P ,KARLSSON P ,et al. Analysis of acrylamide ,a carcinogenic formed in heated foodstuffs [J]. Agricultural and Food Chemistry 2002 ,50(17): 4998-5006.

[28] GOKMEN V ,ACARÖÇ ,ARRIBAS-LORENZO G ,et al. Investigating the correlation between acrylamide content and browning ratio of model cookies [J]. Food Engineering 2008 ,87 (3): 380-385.

[29] GRAF M ,AMREIN T M ,GRAF S ,et al. Reducing the acrylamide content of a semi-finished biscuit on industrial scale [J]. LWT - Food Science and Technology ,2006 ,39(7): 724-728.

[30] CAPUANO E ,FERRIGNO A ,ACAMPA I ,et al. Characterization of the Maillard reaction in bread crisps [J]. European Food Research and Technology ,2008 ,228(2): 311-319.

[31] MONNIER V M. Nonenzymatic glycosylation ,the Maillard reaction and the aging process [J]. Gerontol ,1990 ,45: 105-111.

[32] MRUTHINTI S ,SOOD A ,HUMPHREY C L ,et al. The induction of surface beta-amyloid binding proteins and enhanced cytotoxicity in cultured PC-12 and IMR-32 cells by advanced glycation end products [J]. Neuro Science 2006 ,142: 463-473.

[33] WEI Y ,CHEN L ,CHEN J. Rapid glycation with D-ribose induces globular amyloid-like aggregations of BSA with high cytotoxicity to SH-SY5Y cells [J]. BMC Cell Biol 2009 ,10: 10.

[34] ARRIBA S G ,STUCHBURY G ,YARIN J. Methylglyoxal impairs glucose metabolism and leads to energy depletion in neuronal cells—protection by carbonyl scavengers [J]. Neurobiol Aging 2007 ,28: 1044-1050.

[35] MUNCH G ,APELT J ,ROSEMARIE KIENTSCH E ,et al. Advanced glycation endproducts and pro-inflammatory cytokines in transgenic Tg2576 mice with amyloid plaque pathology [J]. Neurochem 2003 ,86: 283-289.

[36] SHUN-YAO KO ,YI-PAI LIN ,YI-SHUAN LIN. Advanced glycation end products enhance amyloid precursor protein expression by inducing reactive oxygen specie ,Free Radical Biology & Medicine. journal homepage: www.elsevier.com/locate/freeradbiomed.

[37] VERZAR F. The aging of collagen [J]. Sci Am ,1963 ,204: 104-114.

[38] BAYNES JW ,MONNIER VM ,AMES JM ,et al. The Maillard reaction. Chemistry at the interface of nutrition ,aging and disease [J]. Ann New York Acad Sci 2005: 1043.

[39] PÉTERSZEKI G ,MOLINARI J ,RAVELOJAONA V ,et al. Effect of advanced glycation end-products on cell proliferation and cell death [J]. Pathol Biol 2006 ,54: 396-404.

[40] ROBERT J L ,LABAT-ROBERT A M ,ROBERT. Physiology of skin aging Physiologie du vieillissement cutané [J]. Pathologie Biologie 2009 ,57: 336-341.

(下转第454页)

and maturity on fruit quality and flavonoid content of red raspberries [J]. Food Chemistry 2009(112): 676-684.

[18] HEATHER A R, GORDON J, MCDOUGALL, et al. Antiproliferative activity is predominantly associated with ellagitannins in raspberry extracts [J]. Phytochemistry, 2007(68): 218-228.

[19] 孙尤海, 冯松元. 树莓保健功能食品及其制备方法 [P]. 中国: 200510047375.4. 2006-04-19.

[20] 陈晓慧. 树莓中黄酮类化合物的提取、分离及结构鉴定的研究 [D]. 东北农业大学, 2007.

[21] RIITTA P, LIISA N. Bioactive berry compounds—novel tools against human pathogens [J]. Microbiol Biotechnol, 2005(67): 8-18.

[22] BAGCHI D, SEN C K, BAGCHI M, et al. Anti-angiogenic, Antioxidant, and Anti-carcinogenic Properties of a Novel Anthocyanin-Rich Berry Extract Formula [J]. Biochemistry (Moscow) 2004 69(1): 75-80.

[23] 刘建华, 张志军, 李淑芳. 树莓中功效成分的开发浅论 [J]. 食品科学 2004 25(10): 370-372.

[24] 韩加, 刘继文. 树莓营养保健功效及开发前景 [J]. 中国食物与营养 2008(8): 54-56.

[25] PANTELIDIS G E, VASILAKAKIS M, MANGANARIS G A, et al. Antioxidant capacity, phenol, anthocyanin and ascorbic acid contents in raspberries, blackberries, red currants, gooseberries and Cornelian cherries [J]. Food Chemistry, 2007(102): 777-783.

[26] 陈坤明, 宫海军, 王锁民. 植物抗坏血酸的生物合成、转运及其生物学功能 [J]. 西北植物学报 2004 24(2): 329-336.

[27] 彭家泽, 刁洁. 抗坏血酸的生理功能及其在食品中的应用 [J]. 食品与机械, 1994(4): 29.

[28] GIUSTI M M, RODRIGUEZ-SAONA L E, GRIFFIN D, et al. Electrospray and tandem mass spectroscopy as tools for anthocyanin characterization [J]. Journal of Agricultural and Food

Chemistry, 1999 47(11): 4657-4664.

[29] MULLEN W, LEAN M E J, CROZIER A. Rapid characterization of anthocyanins in red raspberry fruit by HPLC coupled to a single quadrupole mass spectrometer [J]. Journal of Chromatography A 2002 966: 63-77.

[30] 孙阳昭, 等. 红莓果中花青素的提取工艺研究 [J]. 分离与提纯 2006 32(1): 129-133.

[31] KJELL T, VIND M A. Color stability of anthocyanins in aqueous solutions at various pH values [J]. Food Chem 2005 89: 427-440.

[32] LUO Wei, ZHANG Ruobing, WANG Liming, et al. Effects of PEF-assisted extraction of anthocyanin in red raspberry [C]. Annual Report Conference on Electrical Insulation Dielectric Phenomena 2008: 630-632.

[33] SUN Y Z, LIAO X J, WANG Z F, et al. Optimization of microwave-assisted extraction of anthocyanins in red raspberries and identification of anthocyanin of extracts using high-performance liquid chromatography-mass spectrometry [J]. Food Res Technol 2007 225(3): 511-523.

[34] 李海霞, 等. 石榴皮中鞣花酸的提取工艺研究 [J]. 药物研究 2008 24(5): 50-52.

[35] 李小萍, 等. 红树莓果实中鞣花酸的提取工艺研究 [J]. 食品工业科技 2010 31(1): 277-279.

[36] 白立敏, 等. 醇法提取红树莓总黄酮的工艺条件研究 [J]. 江苏农业科学 2008(4): 235-237.

[37] 白立敏, 等. 红树莓总黄酮的提取纯化及含量测定 [J]. 湖北农业科学 2008 47(11): 1328-1330.

[38] 徐雅琴, 等. 红树莓中黄酮类物质超声波提取及纯化的研究 [J]. 中国资源综合利用 2009 27(6): 18-19.

[39] 崔旭海. 银杏叶黄酮类化合物提取分离技术的研究进展 [J]. 食品工程 2008(4): 7-11.

[40] 覃海元, 等. 超声波提取仙人掌中黄酮类物质的研究 [J]. 中国食品添加剂 2008(4): 60-63.

(上接第450页)

[41] VLASSARA H. Advanced glycation in health and disease. Role of modern environment [J]. Ann New York Acad Sci 2005, 1043: 452-460.

[42] BIRLOUEZ-ARAGON I, MORALES F, FOGLIANO V. The health and technological implications of a better control of neoformed contaminants by the food industry [J]. Pathologie Biologie 2010 58: 232-238.

[43] FORSTER A, KUHNE Y, HENLE T. Studies on absorption and elimination of dietary Maillard reaction products [J]. Ann New York Acad Sci 2005, 1043: 474-481.

[44] SOMOZA V, WENZEL E, WEI C, et al. Dose-dependent utilisation of casein-linked lysinoalanine, N-epsilon-fructoselysine and N-epsilon-carboxymethyllysine in rats [J]. Mol Nutr Food Res 2006 50: 833-841.

[45] VILLAMIEL M, LOPEZ-FANDINO R, CORZO N, et al. Effects of continuous flow microwave treatment on chemical and microbiological characteristics of milk [J]. Z Lebensm Unters Forsch 1996 202: 15-18.

[46] BANSAL B, CHAN XD. Effect of temperature and power

frequency on milk fouling in an ohmic heater [J]. Food Bioprocess 2006 84: 286-291.

[47] ELIOT-GODEREAUX SC, GOULLIEUX A, QUENEUDEK KINT M. Elaboration and kinetic modelling of the formation of a biochemical marker to quantify HTST processing [J]. Food Res Int 2003 36: 131-139.

[48] ROUX S, COUREL M, AIT-AMEUR L, et al. Kinetics of Maillard reactions in model infant formula during UHT treatment using a static batch ohmic heater [J]. Dairy Sci Technol 2009: 89 (in press).

[49] 曾哲灵, 叶贞雄, 万冬满, 等. 加热过程对蜂蜜中羟甲基糠醛含量的影响 [J]. 南昌大学学报: 理科版, 2002, 26(1): 67-70.

[50] FLOURY J, BELLETTREB J, LEGRAND J, et al. Analysis of a new type of high pressure homogeniser. A study of the flow pattern [J]. Chemical Engineering Science, 2004, 59(4): 843-853.

[51] 陈梅英, 高明才, 龚雪梅, 等. 高压脉冲杀菌集成冷冻浓缩加工果汁的工艺 [J]. 农业工程学报 2009 25(3): 237-241.