

黄酮类化合物与食品成分相互作用研究进展

刘霞, 罗芳, 余银, 李鑫, 高婉茹

(湖南省食品科学与生物技术重点实验室 / 湖南农业大学 食品科技学院, 湖南 长沙 410128)

摘要: 黄酮类化合物具有多种生物活性,能与食品中的某些成分发生相互作用,影响食品的品质;反之食品成分也会对黄酮类化合物的生物活性产生影响,因此黄酮类化合物和食品成分如蛋白质、脂肪、碳水化合物的相互作用研究,受到国内外的广泛关注。作者综述了黄酮类化合物和食品中蛋白质、脂肪、碳水化合物相互作用的研究现状,对其发展方向进行了展望。

关键词: 黄酮类化合物;相互作用;蛋白质;脂肪;碳水化合物

中图分类号: TS 20 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-1689(2017)10-1009-07

Research Process of Interaction Between Flavonoids and Food Ingredients

LIU Xia, LUO Fang, SHE Yin, LI Xin, GAO Wanru

(Hunan Province Key Laboratory of Food Science and Biotechnology/College of Food Science and Technology, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China)

Abstract: Flavonoids have various biological activities, interactions between flavonoids and food composition have effect not only on food quality, but on the biological activity of flavonoids. Therefore, interaction research of flavonoids and food composition received extensive attention in different fields. This paper reviews the research process for interactions between flavonoids and food composition (proteins, lipids and carbohydrates). In addition, trends for research direction of interactions are also prospected.

Keywords: flavonoids, interaction, proteins, lipids, carbohydrates

黄酮类化合物(Flavonoids)是一类具有 2-苯基色原酮(flavone)结构的植物次级代谢产物,存在于茶叶、蔬菜和水果等多种食源性植物中,其色泽因多呈黄色而被称为黄酮^[1]。根据三碳链的氧化程度和 B 环的连接位置等特点,黄酮类化合物可分为下列几类:黄酮类、黄酮醇、二氢黄酮类、二氢黄酮醇类、花色苷类、黄烷-3,4 二醇类、双苯吡酮类、查尔酮和双黄酮类等 15 种。黄酮类化合物由于具有多

方面的功效,如抗病毒^[2]、抗氧化^[3]、降血压^[4]、抗炎^[5]、抗衰变^[6]、抗肿瘤^[7]和防治心脑血管系统等作用,受到国内外的广泛关注。黄酮类化合物能与某些生物大分子相互作用^[8],如它与酶作用后,可以抑制酶的活性^[9]。此外,黄酮类化合物与食品中某些营养物质也会发生相互作用,影响食品的品质,同时自身的生物活性也会受到一定的影响^[10]。近年来,国内外一些研究小组对黄酮类化合物与食品中生物大分子

收稿日期: 2016-06-24

基金项目: 湖南农业大学“1515”人才计划项目。

作者简介: 刘霞(1976—),女,内蒙古包头人,理学博士,教授,主要从事食品营养与健康 and 食品安全与控制研究。

E-mail: liuxiaspr@aliyun.com

引用本文: 刘霞,罗芳,余银,等. 黄酮类化合物与食品成分相互作用研究进展[J]. 食品与生物技术学报,2017,36(10):1009-1015.

(蛋白质、脂肪、碳水化合物)之间的相互作用,做了深入的研究,为其在食品工业中的应用提供了理论依据。作者总结了黄酮类化合物与食品中蛋白质、脂肪、碳水化合物相互作用的研究进展,并对黄酮类化合物与食品成分相互作用的研究前景进行了展望。

1 分子间相互作用的研究方法

1.1 紫外-可见吸收光谱法

紫外-可见吸收光谱法 (ultraviolet-visible absorption spectrometry, UV-VIS)^[11] 是研究分子间相互作用的一种最方便、最常用的方法。其原理是基于分子内电子跃迁产生的吸收光谱进行分析的光谱方法。蛋白质一般在 280 nm 左右有特征紫外吸收峰^[12],主要来源于芳香族氨基酸(生色基团),如酪氨酸(Tyr)、色氨酸(Trp),苯丙氨酸(Phe)和含硫氨基酸。当分析物与蛋白质相互作用时,生色基团的微环境引起蛋白质构象的改变,生色基团的紫外吸收光谱也发生改变,可以此来分析物质和蛋白质两者之间相互作用的情况。利用 UV-VIS 可以获得小分子与蛋白质相互作用的结合常数和结合位点数^[13],但 UV-VIS 给出的信息量有限,一般作为辅助方法。

1.2 荧光光谱法

荧光光谱法 (Fluorescence)^[14]是研究分子间相互作用的主要手段。其原理是利用物质从激发态回到低能状态时所释放的辐射进行分析的方法。该法中多数采用荧光猝灭法^[15]研究分子间的相互作用。荧光猝灭^[16]是指荧光物质与荧光猝灭剂(使荧光强度下降的物质)所发生的使荧光强度下降的化学或物理反应。荧光猝灭主要有静态猝灭和动态猝灭两种。动态猝灭是与发光过程相互竞争从而缩短发光分子激发态寿命的过程,这是一个时间依赖的过程;静态猝灭过程可能发生于猝灭剂与荧光物质的激发态分子之间的相互作用,也有可能发生于猝灭剂与荧光物质的基态分子之间的相互作用。借助荧光猝灭法可以判断出反应的猝灭类型,以及分子间结合的能量转移效率、结合距离和作用方式。对静态猝灭来说,还可以获得分子间相互作用的结合常数、结合位点数等参数^[17]。通过对这些参数的测定,进行定性、定量分析。

1.3 电化学法

电化学方法^[18]是根据分子间相互作用前后氧化

还原峰电流的变化^[19]、峰电位的移动^[20]进行分子间相互作用的分析。当小分子吸收光谱与大分子物质的吸收光谱发生重叠或吸收光谱较弱时,电化学可作为有益补充方法,尤其是对某些小分子,主要以静电作用与生物大分子结合,应用电化学方法可以得到其他方法无法得到的信息^[21]。对于无法用紫外-可见、荧光等光谱法来研究的体系,可用极谱法和伏安法等电化学方法进行研究。但是电化学存在实验结果容易受环境条件影响,重现性差的缺点。

1.4 计算机分子模拟法

分子对接模拟^[22]是使用计算机软件,基于原子水平建立的分子模型,模拟分子行为与结构的一种方法。随着化学信息学的快速发展,该技术已成为研究分子间相互作用的重要手段之一。分子对接方法可分为刚性对接、半柔性对接以及柔性对接 3 类。常用的分子对接(软件)主要有 GOLD、SYBYL 等。通过软件的模拟,分析分子间结合过程的相关分子构象^[23]、静电势能^[24]、疏水力^[25]等物理性质,可以找到底物与受体的最佳结合位点和作用力类型。

1.5 亲和色谱法

亲和色谱法 (affinity chromatography, AC)是将相互间具有高度特异亲和性的两种物质之一作为固定相,利用固定相的特异性亲和吸附作用分离分子的一种方法。目前 AC^[26]已广泛用于特异的相互作用进行研究,如药物与蛋白质^[27],其研究内容包括探索药物分子与蛋白质结合位点的种类数、结合常数、活性位点数、蛋白质结合域的类型和位置、相互作用力类型等,对高亲和性结合和弱相互作用都适用。

2 黄酮类化合物与食品中成分的相互作用

2.1 黄酮类化合物与蛋白质的相互作用

蛋白质是食品体系中重要的营养素,其功能性直接影响食品品质^[28]。黄酮类化合物与蛋白质发生相互作用后,会影响到食品的营养、质地等^[29]。蛋白质的营养价值主要取决于氨基酸的组成与必需氨基酸的消化率。Nagy 等^[30]利用 AC 研究了槲皮素、儿茶素、异槲皮素等黄酮类化合物与乳铁蛋白的相互作用,发现黄酮类化合物与蛋白质之间主要是非共价结合(如氢键、疏水作用),如果它们与蛋白质的疏水性位点结合,该蛋白质结构会发生改变,对蛋白质的营养价值产生不利影响。Rawel 等^[31]利用圆

二色谱法研究了芹菜素、山奈酚等黄酮类化合物与大豆蛋白的相互作用,结果表明上述物质能使大豆蛋白残基中的赖氨酸、半胱氨酸和色氨酸的含量减少,影响大豆蛋白的品质。Petzke 等^[32]利用小鼠试验研究了绿原酸与 β -乳球蛋白的相互作用,发现绿原酸与 β -乳球蛋白结合后, β -乳球蛋白氮消化率显著降低;蛋氨酸含量,半胱氨酸,赖氨酸和色氨酸含量也减小,说明绿原酸会影响乳球蛋白的氮消化率和营养价值。Sascha 等^[33]利用小鼠试验研究了绿原酸、槲皮素与大豆蛋白的相互作用。结果表明,大豆蛋白与绿原酸、槲皮素结合后,其氮消化率、生物价、净利用率均受到了不利影响。Aguié-Béghin 等^[34]应用电喷雾质谱研究了儿茶素、表儿茶素、表儿茶素没食子酸酯与 β -酪蛋白的相互作用。发现上述物质能延缓 β -酪蛋白在人体的吸收。Bicer^[35]利用 UV-VIS 和电化学方法,研究了生理 pH 下不同温度对芦丁与 L-氨基酸相互作用的热力学变化。发现芦丁与精氨酸和赖氨酸结合主要是由于疏水作用,而芦丁与组氨酸的结合是由于氢键和范德华力的作用。随着温度的升高,两者的结合常数增大,复合物也越稳定。上述研究表明,黄酮类化合物与蛋白质结合后,影响蛋白质的结构,某些化合物与蛋白质结合后,会降低蛋白质的营养价值^[36-37]。

淀粉酶广泛应用于食品工业中,如果蔬加工、焙烤食品、乳品等^[38-39]。Yang 等^[40]用 UV-VIS 和荧光光谱,研究了从毛竹叶中提取的荭草苷、异荭草苷、牡荆素、牡荆苷素,对 α -淀粉酶工作机制及淀粉消化的影响。发现上述黄酮类化合物不仅与 α -淀粉酶结合,抑制了酶的活性;也能与淀粉相互作用,影响淀粉的老化,延长食品的货架期。Li 等^[41]利用荧光光谱法研究了槲皮素、异槲皮素、芦丁与 α -淀粉酶的相互作用,发现这 3 种物质都能与 α -淀粉酶结合,抑制其活性,且均为竞争性抑制。结合力类型主要为疏水作用,结合力大小为:异槲皮素>槲皮素>芦丁。陈磊^[42]利用 UV-VIS 和荧光光谱法,研究了木犀草素、香叶木素、柚皮素、二氢杨梅素、山奈酚、槲皮素对 α -淀粉酶催化活性的影响。发现这 6 种物质对 α -淀粉酶均有一定程度的抑制作用,当质量浓度为 1 mg/mL 时,木犀草素对 α -淀粉酶(0.616 U/mL)催化活性的抑制作用最大,抑制率达到 81.24%;槲皮素则最小,抑制率仅为 9.82%。对 α -淀粉酶抑制率大小为:木犀草素>香叶木素>柚皮素>二氢杨梅素>

山奈酚>槲皮素,且抑制作用类型均属于非竞争性抑制。 β -葡萄糖苷酶在食品风味的改善、纤维素降解等领域具有重要的应用价值^[43]。郁彩虹^[44]利用分子对接、UV-VIS 与荧光光谱法研究了 β -葡萄糖苷酶与槲皮素、木犀草素、葛根素的相互作用。发现这 3 种物质均能与 β -葡萄糖苷酶发生结合,抑制 β -葡萄糖苷酶的活性,它们与 β -葡萄糖苷酶的结合力主要为氢键。由于这 3 种黄酮化合物的结构相似,它们与 β -葡萄糖苷酶结合常数在数量级接近,随着温度的升高,结合常数减小。Sirichai 等^[45]用 UV-VIS 研究了植物性食物(玫瑰茄、桑白皮、野菊花、蝶豆),分别与 α -葡萄糖苷酶和 α -淀粉酶的相互作用。发现它们对这两种酶均有抑制作用。Li 等^[46]利用荧光光谱法研究了脂肪酶与异槲皮素、芦丁、槲皮素的相互作用,发现它们均能抑制脂肪酶的活性,且都属于非竞争性抑制。他们与脂肪酶之间的结合力主要为氢键和范德华力,其亲和力大小为:芦丁>异槲皮素>槲皮素。Rohn^[47]等人研究了绿原酸与 α -糜蛋白酶的相互作用。研究表明,绿原酸与 α -糜蛋白酶相互作用后, α -糜蛋白酶活性受到抑制,从而使得食物中蛋白质的水解减慢;随着绿原酸浓度的增加,对 α -糜蛋白酶活性的抑制增大。这说明黄酮类化合物通过与酶的相互作用后,会抑制酶的活性,进而影响食品的感官与货架期。

2.2 黄酮类化合物与脂肪的相互作用

脂肪主要存在于坚果、肉制品、油炸食品、面制品等食品中。李晓丽^[48]将含有芦丁、黄芩等黄酮类化合物类的中草药添加到食用油中,采用 DPPH 法测定了该食用油的抗氧化性,发现这些中草药对花生油和芝麻油均有较强的抗氧化作用,他们将单独或复合的槐米、银杏叶和黄芩的粗粉,添加至芝麻油和花生油中,以自由基清除实验和 Schaal 烘箱研究了槐米、银杏叶、黄芩、银杏叶+槐米、黄芩+槐米对花生油和芝麻油的抗氧化作用。发现黄芩、黄芩+槐米对花生油有较强的抗氧化性,银杏叶、槐米、银杏叶+槐米对芝麻油有较强的抗氧化性。他们根据货架寿命与反应速度常数和 Arrhenius 方程的关系,预测了花生油和芝麻油添加了黄酮的货架期。结果表明:添加了黄酮的花生油和芝麻油货架期得到了不同程度的延长。Benedicte 等^[49]用分子模拟、化学建模的方法,研究了槲皮素、芦丁、儿茶素、咖啡绿原酸与脂质的相互作用。结果表明,上述 4 种黄酮

化合物比 α -生育酚或抗坏血酸对脂质氧化有更好的抑制作用。B         等^[50]研究了槲皮素、芦丁、绿原酸对脂质氧化的影响。发现当 pH 为 5.8 时,上述物质与脂质相互作用后,能抑制由肌红蛋白引起的脂质过氧化反应。以上研究说明,黄酮类化合物与食品中的脂肪发生相互作用后,能够抑制脂肪氧化过程中过氧化物的产生。

黄酮类化合物与脂肪相互作用后,也会影响黄酮类化合物在人体内的吸收。Schramm 等^[53]用食物疗法和组胺 H2 受体拮抗剂法,研究了可可黄烷醇与富含脂肪的食品相互作用后,黄烷醇在人体中的吸收情况。发现与富含碳水化合物食物相比,富含脂质和蛋白质食物对黄烷醇的吸收影响很小。当黄酮类化合物与脂类发生相互作用后,脂类可以捕捉到黄酮类化合物,保护他们通过胃肠道。N      等^[54]用体外消化模型,研究了可可多酚与脂肪含量不同的食品(可可酒和可可粉)相互作用对可可多酚消化率的影响。发现脂肪能够保护可可多酚更好的通过胃肠道,有利于其吸收。这或许是可可多酚与脂肪相互作用后,提高了它在消化过程中的稳定性。另外,脂质也能作为黄酮类化合物的载体,保护其通过胃肠道。脂质纳米载体通过黄酮类化合物加载后,稳定性显著提高。Barras 等^[55]用 UV-VIS 研究了类黄酮类化合物加载的脂质纳米胶囊,发现槲皮素加载脂质纳米胶囊脂质体,脂质体稳定性显著提高;由于脂质纳米胶囊是水不溶性或 pH 敏感的物质,它们也可作为类黄酮类化合物的递送载体。

2.3 黄酮类化合物与碳水化合物相互作用

膳食中碳水化合物的主要来源是植物性食物,如谷类、薯类和豆类等。目前主要集中在与膳食纤维的相互作用^[56-57]。

Bourvellec 等^[58]应用朗格缪尔等温滴定,研究了原花青素与细胞壁中纤维素的相互作用。发现原花青素能够与纤维素以疏水作用力发生结合,随着原花青素相对分子质量的增加,结合力也增强。Bautista-Or      等^[59]应用 AC 研究了原花青素与葡萄皮细胞壁(可溶性纤维)的相互作用。发现原花青素的相对分子质量越大,与可溶性纤维的结合越强,其中单宁与可溶性纤维的亲合力最高,达到 61%;同时原花青素与葡萄皮细胞壁相互作用后,会影响葡萄酒的品质,尤其是葡萄酒的澄清时间。Wang 等^[60]

利用 AC 研究了类黄酮类、黄酮醇、黄烷酮、异黄酮、黄烷醇与燕麦- β -葡聚糖的相互作用,结果表明,它们与燕麦- β -葡聚糖的亲合力为:黄酮>类黄酮>黄烷酮>异黄酮>黄烷醇,发现 B 环和 C 环上带的羟基,可明显增强黄酮类化合物与燕麦- β -葡聚糖的结合能力,且 C 环 C3 的羟基比 B 环 C3 的羟基,更能提高黄酮类化合物的亲合力,当黄酮类化合物的 A 环和 C 环结构相同时,B 环的羟基化能提高黄酮类化合物与燕麦- β -葡聚糖的亲合力。

另外碳水化合物也能与黄酮类化合物-蛋白质的复合物发生相互作用,当黄酮类化合物与碳水化合物发生作用后,可以中断黄酮类化合物-蛋白质复合物的形成,有利于提高蛋白质的营养价值。Rui^[61]等人利用荧光光谱法,研究了碳水化合物对黄酮类化合物与胰蛋白酶相互作用的影响。发现聚半乳糖醛酸、阿拉伯胶、果胶和黄原胶,通过竞争机制可中断原花青素 B3 和胰蛋白酶的相互作用。Soares 等^[62]利用色谱法,研究了碳水化合物对唾液蛋白和葡萄籽原花青素相互作用的影响,发现阿拉伯树胶、果胶和聚半乳糖醛酸可有效的抑制原花青素和蛋白质复合物的形成。黄酮类化合物-蛋白质复合物是葡萄酒里的主要涩味物质,而碳水化合物可以中断黄酮类化合物-蛋白质复合物的形成,减少酒中的涩味^[63]。

3 结语

对于黄酮类化合物与食品成分的研究主要是非共价作用力的结合,如何区分黄酮类化合物与食品成分相互作用的共价与非共价结合还需更深入的研究;其次,对黄酮类化合物与食品成分的研究,主要集中在蛋白质、脂肪、碳水化合物,而与食品中其他成分的相互作用研究较少,比如维生素、矿物质元素等;此外,内外界因素对黄酮类化合物与食品成分相互作用的影响的研究还很少,应进一步了解不同种类黄酮类化合物与食品成分相互作用的确切机制,从化学反应热力学和动力学角度,分析相互作用的反应速度、程度等,这样可利用黄酮类化合物与食品成分的相互作用,通过调整加工条件,改良食品的质量,也有利于研发具有更高营养价值的食品。

参考文献:

- [1] BURDA S, OLESZEK J. Antioxidant and antiradical activities of flavonoids [J]. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 2001, 49(6): 2774-2779.
- [2] NAITHANI R, HUMA L C, HOLLAND L E, et al. Antiviral activity of phytochemicals: a comprehensive review [J]. **Mini Rev Med Chem**, 2008, 8(11): 1106-1133.
- [3] SIOW R C, MANN G E. Dietary isoflavones and vascular protection: activation of cellular antioxidant defenses by serms or hormesis [J]. **Mol Aspects Med**, 2010, 31(6): 468-477.
- [4] YOU Xin. Property of nature antioxidants-plants polyphenol and flavonoids extracts and their bioactivities on human health [J]. **Journal of Food Science and Biotechnology**, 2011, 30(4): 481-488. (in Chinese)
- [5] Chen S. Natural products triggering biological targets-a review of the anti inflammatory phytochemicals targeting the arachidonic acid pathway in allergy asthma and rheumatoid arthritis [J]. **Curr Drug Targets**, 2011, 12(3): 288-301.
- [6] DARVESH A S, CARROLL R T, BISHAYEE A, et al. Oxidative stress and Alzheimer's disease: dietary polyphenols as potential therapeutic agents [J]. **Expert Rev Neurother**, 2010, 10(5): 729-745.
- [7] ING L M, REN D M. Flavopiridol, the first cyclin-Dependent kinase inhibitor: recent advances in combination chemotherapy [J]. **Mini Rev Med Chem**, 2010, 10(11): 1058-1070.
- [8] Le Bourvellec C, Renard C M G C. Interactions between polyphenols and macromolecules: Quantification methods and mechanisms [J]. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, 2012, 52: 213-248.
- [9] LI Y, GAO F, GAO F, et al. Study on the interaction between 3 flavonoid compounds and α -amylase by fluorescence spectroscopy and enzymatic kinetics [J]. **Food Chemistry**, 2009, 74(3): 199-203.
- [10] Lidija Jakobek. Interactions of polyphenols with carbohydrates, lipids and proteins [J]. **Food Chemistry**, 2015, 175: 556-567.
- [11] 高晓艳. 药物和蛋白质相互作用的研究 [D]. 淮北师范大学, 2011.
- [12] WANG Ling, ZHAO Junhong, YANG Ran. The interaction between naringin and human serum albumin [J]. **Henan Science**, 2014, 32(5): 716-718. (in Chinese)
- [13] 霍坤. 黄酮类化合物与胰蛋白酶的相互作用及葡萄糖和亚油酸的影响 [D]. 石家庄: 河北医科大学, 2013.
- [14] YAN QIN LI, FENG CHAO ZHOU, FEI GAO. Comparative evaluation of quercetin, isoquercetin and rutin as inhibitors of γ -glucosidase [J]. **J Agric Food Chem**, 2009, 57: 11463-11468.
- [15] TAO Huilin, SHOU Hongjuan, ZHU Shiyi. Study of interaction and structure-activity relationships between three flavonoids and BSA [J]. **Journal of Guangxi Academy of Sciences**, 2010, 26(3): 338-342. (in Chinese)
- [16] 许金钩. 荧光分析法 [M]. 科学出版社, 2006.
- [17] 王安萍. 几种天然药物黄酮类化合物类活性成分与蛋白质相互作用的研究 [D]. 南昌: 南昌大学, 2008.
- [18] Yuan L, Meng-Xia X, Min J, et al. Spectroscopic investigation of the interaction between human serum albumin and three organic acids [J]. **Spectrochimica Acta Part A Molecular & Biomolecular Spectroscopy**, 2005, 61(9): 2245-2251.
- [19] 曾红娟. 芦丁及芦丁稀土配合物与 DNA 相互作用的研究 [D]. 兰州: 西北师范大学, 2002.
- [20] 卓琳. 黄酮类化合物及其配合物与 DNA 的相互作用研究 [D]. 兰州: 西北师范大学, 2004.
- [21] 钱宗耀. 电化学伏安分析法在药用植物活性成分中的应用研究 [D]. 石河子: 石河子大学, 2008.
- [22] LIU W, RONG G. Interaction between flavonoid, quercetin and surfactant aggregates with different charges [J]. **J Colloid Interface Sci**, 2006, 302(2): 625-632.
- [23] SHEVIN R, Ferozi, Saharuddin B. Probing the interaction of a therapeutic flavonoid, pinostrobin with human serum albumin: multiple spectroscopic and molecular modeling investigations [J]. **PLOS ONE**, 2013, 8(10): 1-12.
- [24] FAN Zhifei, ZENG Weicai, DAI Jiling, et al. Interaction of epigallocatechin-3-gallate with porcine pancreas lipase [J]. **Food Science**, 2013, 34(7): 20-23. (in Chinese)
- [25] Xiaodi Niu, Xiaohan Gao, Hongsu Wang, et al. Insight into the dynamic interaction between different flavonoids and bovine serum albumin using molecular dynamics simulations and free energy calculations [J]. **J Mol Model**, 2013, 19: 1039-1047.
- [26] LIU Xuefeng, XIA Yongmei, FANG Yun, et al. Interaction between bovine serum albumin and some active components of traditional Chinese herb [J]. **Chemical Journal of Chinese Universities**, 2004, 25(11): 2099-2103. (in Chinese)
- [27] 刘丽婷. 亲和色谱法研究五种中药活性成分与固定化人血清白蛋白的相互作用 [D]. 西安: 西北大学, 2009.

- [28] FAN Jinbo, ZHOU Suzhen, ZHEN Lihong, et al. Advances on phenol in fruits and vegetables and its interaction with protein[J]. **Food Industry Technology**, 2013, 34(19):352-357. (in Chinese)
- [29] KAN Mingming, YE Fayin, ZHAO Guohua. Advance in research on covalent interactions of polyphenol and protein and their effects on food system[J]. **Food Science**, 2015, 36(1). (in Chinese)
- [30] NAGY K, COURTET C M C, WILLIAMSON G, et al. Non-covalent binding of proteins to polyphenols correlates with their amino acid sequence[J]. **Food Chemistry**, 2012, 132(3):1333-1339.
- [31] RAWEL H M, CZAJKA D, ROHN S, et al. Interactions of different phenolic acids and flavonoids with soy proteins [J]. **International Journal of Biological Macromolecules**, 2002, 30, 137-150.
- [32] PETZKE K J, STEFANIE S, SASCHA R, et al. Chlorogenic acid moderately decreases the quality of whey proteins in rats[J]. **Journal of Agricultural & Food Chemistry**, 2005, 53(53):3714-3720.
- [33] ROHN S, PETZKE K J, RAWEL H M, et al. Reactions of chlorogenic acid and quercetin with a soy protein isolate-Influence on the in vivo food protein quality in rats[J]. **Molecular Nutrition and Food Research**, 2006, 50, 696-704.
- [34] AGUIE B V, SAUSSE P, MEUDECE E, et al. Polyphenol- β -casein complexes at the air/water interface and in solution: Effects of polyphenol structure[J]. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 2008, 56, 9600-9611.
- [35] BICER E, OZDEMIR S. Interaction thermodynamics of rutin (vitamin P) with basic L-amino acids at physiological pH: the effect of temperature on the affinity order[J]. **Russian Journal of Electrochemistry**, 2014, 50(11):1058-1064.
- [36] STOJADINOVIC M, RADOSAVLJEVIC J, OGNJENOVIC J, et al. Binding affinity between dietary polyphenols and β -lactoglobulin negatively correlates with the protein susceptibility to digestion and total antioxidant activity of complexes formed [J]. **Food Chemistry**, 2013, 136, 1263-1271.
- [37] VON S M, JARA F L, RUIZ A L T G, et al. Nanocomplex formation between β -lactoglobulin or caseinomacropptide and green tea polyphenols: Impact on protein gelation and polyphenols antiproliferative activity[J]. **Journal of Functional Foods**, 2012, 4: 800-809.
- [38] 杜慧真, 马爱勤, 张洁. 生命的保护神: 酶及植物化学物[M]. 济南: 山东科学技术出版社, 2010: 14-15.
- [39] KANG Mingli. Starch enzymes and their hydrolyzing styles[J]. **Food Engineering**, 2008(3): 11-13. (in Chinese)
- [40] YANG J P, HE H, LU Y H. Four flavonoid compounds from phyllostachys edulis leaf extract retard the digestion of starch and its working mechanisms[J]. **J Agric Food Chem**, 2014, 62: 7760-7770.
- [41] LI Y, GAO F, GAO F, et al. Study on the interaction between 3 flavonoid compounds and α -amylase by fluorescence spectroscopy and enzymatic kinetics[J]. **Journal of Food Science**, 2009, 74(3): 199-203.
- [42] 陈磊. 类黄酮类化合物与 α -淀粉酶相互作用特性以及机理研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2014.
- [43] BARRE A, CULERRIER R, GRANIER C, et al. MaPPingo flge-binding EPito pesonthe major latex allergen HevB2 and the cross-reactingl, 3beta-glucanase fruit allergensasa moleeular basisforthe latex-fruit syndrome [J]. **Mol Immunol**, 2009, 46(8-9): 1595-1604.
- [44] 郁彩虹. 葛根素、槲皮素以及木犀草素与 β -葡萄糖苷酶相互作用的研究[D]. 西安: 陕西师范大学, 2011.
- [45] ADISAKWATTANA S, RUENG SAMRAN T, KAMPA P, et al. In vitro inhibitory effects of plant-based foods and their combinations on intestinal β -glucosidase and pancreatic α -amylase [J]. **Bmc Complementary & Alternative Medicine**, 2012, 12(1): 1-8.
- [46] LI Y Q, YANG P, GAO F, et al. Probing the interaction between 3 flavonoids and pancreatic lipase by methods of fluorescence spectroscopy and enzymatic kinetics[J]. **European Food Research & Technology**, 2011, 233(1): 63-69.
- [47] ROHN S, RAWEL H M, WOLLENBERGER U, et al. Enzyme activity of achymotrypsin after derivatization with phenolic compounds[J]. **Food Nahrung**, 2003, 47, 325-329.
- [48] 李晓丽. 中草药对食用油脂的抗氧化作用[D]. 雅安: 四川农业大学, 2004.
- [49] LORRAIN B, DANGLES O, GENOT C, et al. Chemical modeling of hemeinduced lipid oxidation in gastric conditions and inhibition by dietary polyphenols[J]. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 2010, 58: 676-683.
- [50] DANGLES O, LORRAIN B, LOONIS M, et al. Dietary ironinitiated lipid oxidation and its inhibition by polyphenols in gastric conditions[J]. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 2012, 60: 9074-9081.
- [51] SHISHIKURA Y, KHOKHAR S, MURRAY B S. Effects of tea polyphenols on emulsification of olive oil in a small intestine

- model system[J]. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 2003, 54: 1906-1913.
- [52] UCHIYAMA S, TANIGUCHI Y, SAKA A, et al. Prevention of diet-induced obesity by dietary black tea polyphenols extract in vitro and in vivo[J]. **Nutrition**, 2011, 27: 287-292.
- [53] SCHRAMM D D, MALINA K, SCHRADER H R, et al. Food effects on the absorption and pharmacokinetics of cocoa flavanols [J]. **Life Sciences**, 2003, 73(7): 857-869.
- [54] NADIA O, JORDI R, MARIA P R, et al. Effect of fat content on the digestibility and bioaccessibility of cocoa polyphenol by an in vitro digestion model[J]. **Journal of Agricultural & Food Chemistry**, 2009, 57(13): 5743-5749.
- [55] BARRAS A, MEZZETI A, RICHARD A, et al. Formulation and characterization of polyphenol-loaded lipid nanocapsules [J]. **International Journal of Pharmaceutics**, 2009, 379: 270-277.
- [56] MacDonald, R. S., & Wagner, K. Influence of dietary phytochemicals and microbiota on colon cancer risk [J]. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 2012, 60: 6728-6735.
- [57] TUOHY K M, CONTERNO L, GESPEROTTI M, et al. Up-regulating the human intestinal microbiome using whole plant foods, polyphenols, and/or fiber[J]. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 2012, 60: 8776-8782.
- [58] LE B C, BOUCHET B, RENARD C M G C. Non-covalent interaction between procyanidins and apple cell wall material. Part III; Study on model polysaccharides[J]. **Biochimica et Biophysica Acta**, 2005, 1725: 10-18.
- [59] BAUTISTA O A B, CANO L M, RUIZ G Y, et al. Interactions between grape skin cell wall material and commercial enological tannins. Practical implications[J]. **Food Chemistry**, 2014, 152: 558-565.
- [60] WANG Y, LIU J, CHEN F, et al. Effects of molecular structure of polyphenols on their noncovalent interactions with oat β -glucan [J]. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 2013, 61: 4533-4538.
- [61] GONCALVES R, MATEUS N, DE Freitas V. Influence of carbohydrates on the interaction of procyanidin B3 with trypsin[J]. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 2011, 59: 11794-11802.
- [62] SOARES S, MATEUS N, DE Freitas V. Carbohydrates inhibit salivary proteins precipitation by condensed tannins[J]. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 2012, 60: 3966-3972.
- [63] SNELDERS J, OLAERTS H, DORNEZ E, et al. Structural features and feruloylation modulate the fermentability and evolution of antioxidant properties of arabinoxylan oligosaccharides during in vitro fermentation by human gut derived microbiota [J]. **Journal of Functional Foods**, 2014, 10: 1-12.

会 议 消 息

会议名称(中文): 食品发酵微生物组论坛

所属学科: 动植物微生物学、生物物理学、生物化学及分子生物学

开始日期: 2017-10-25

结束日期: 2017-10-29

所在城市: 北京市 朝阳区

具体地点: 中国科学院微生物研究所

主办单位: 中国菌物学会、中国科学院真菌学国家重点实验室

联系人: 蒋娜、齐莎

联系电话: 01064807455、01064807515

E-MAIL: microb2017@163.com

会议网站: http://www.msconfungi.org.cn/templates/T_Contents/index.aspx?nodeid=8&page=ContentPage&contentid=815

会议背景介绍: 由中国菌物学会、中国科学院真菌学国家重点实验室共同主办的“食品发酵微生物组论坛暨培训班”, 将于2017年10月25-29日在北京举行。本次会议将通过讲授食品发酵微生物组和相关领域的国际最新研究进展, 更新我国相关企业、科研和教学单位相关人员的食品微生物学知识和技能, 促进传统食品发酵工艺的现代化升级改造和企业发展。

会议将特邀各个研究方向专家, 讲授以下内容: 1) 国际微生物组, 特别是食品发酵微生物组研究的最新进展及其应用潜力; 2) 食品微生物分类系统和鉴定方法更新; 3) 培养和培养微生物多样性和群落研究新技术; 4) 食品发酵微生物基因组、宏基因组、宏转录组和代谢组研究理论与方法; 5) 食品发酵微生物新分离鉴定方法实验和演示; 6) 食品发酵微生物基因组、宏基因组和宏转录组生物信息学分析方法介绍和演示。