利用 UPLC–MS/MS 研究高 Amadori 化合物番茄粉的制备工艺

张淑琴， 余佳浩， 张连富*
（江南大学 食品学院，江苏 无锡 214122）

摘要： 对番茄粉中 Amadori 化合物的提取工艺进行了优化，通过单因素和正交试验，利用超高效液相色谱–三重四级杆质谱（UPLC–MS/MS）研究了水分活度、温度、时间、组氨酸添加量及抗氧化剂添加量对番茄粉中 Amadori 化合物生成量的影响。结果表明番茄粉中 Amadori 化合物的最佳提取条件：以水为溶剂超声提取 10 min。高 Amadori 化合物番茄粉的最佳热处理工艺：水分活度 0.44、加热温度 54 ℃、加热时间 4.2 h、组氨酸添加量 2.8 mg/g、抗氧化剂添加量 0.048 mg/g。在此热处理工艺条件下番茄粉中的 Amadori 化合物总质量分数达到 152.59 mg/g，Fru–His 质量分数为 3.32 mg/g，明显高于其它番茄制品。

关键词： 番茄粉；热加工；UPLC–MS/MS；Amadori 化合物；美拉德反应
中图分类号：TS 205.1 **文章编号：**1673–1689（2019）09–0145–08 **DOI：**10.3969/j.issn. 1673–1689.2019.09.021

Study of Preparation Process of Tomato Powder Rich in Amadori Compounds by UPLC–MS/MS

ZHANG Shuqin， *YU Jiahao*， *ZHANG Lianfu**
（School of Food Science and Technology，Jiangnan University，Wuxi 214122，China）

Abstract： To prepare tomato powder rich in Amadori compounds. A UPLC-MS/MS method using caffeine as an internal standard was used to detect and quantify Amadori compounds by optimizing the extraction method of Amadori compounds. Besides，the influence of water activity，heating temperature and time，concentration of histidine and antioxidants on the yield of Amadori compounds were studied. The optimum extraction conditions were as follows：extract solvent water and extraction time 10 min；The optimal heating conditions were as follow：raw material tomato powder with water activity as 0.44 with the addition of 0.048 mg/g tea polyphenol，2.8 mg/g histidine，heating at 54 ℃ for 4.2 h. This method is simply and accurate. The concentration of Amadori compounds and Fru-His in the prepared product was respectively 152.59 mg/g and 3.32 mg/g，which were larger than any other tomato products.

Keywords： tomato powders，heating，UPLC-MS/MS，Amadori compounds，mallard reaction

收稿日期： 2017–02–28
基金项目： 江苏省食品安全质量控制协同创新中心行业发展计划项目；中央大学基础研究基金项目（JUSRP51501）；江苏省重点研发计划（现代农业）（BE2017374–1）。
* **通信作者：** 张连富（1967—），男，教授，博士研究生导师，主要从事功能性食品研究。E–mail：lianfu@jiangnan.edu.cn
引用本文： 张淑琴， 余佳浩， 张连富. 利用 UPLC–MS/MS 研究高 Amadori 化合物番茄粉的制备工艺 [J]. 食品与生物技术学报，2019，38（09）：145–152.

Amadori 化合物是美拉德反应的前期产物。果蔬原料中的葡萄糖、果糖等还原糖物质作为羰基供体,与氨基酸、肽、蛋白质中含有的自由氨基之间发生羰胺缩合反应,经 Amadori 重排后,形成结构、性质相对稳定的关键中间产物——1-氨基-1-脱氧-2-酮糖,即 Amadori 化合物组分,也称为酮糖胺组分(Ketosamines),其通用组成式为 Fructose-Amino acid[1]。在果蔬加工或储藏过程中,ACs 的检测能够为果蔬的品质变化提供一定的技术指标。除此以外,一些 Amadori 化合物已被证实具有特定的生理功效[2-10]。由于食品,尤其是富含还原糖和氨基酸的食品,在热加工过程中很容易发生美拉德反应生成 Amadori 化合物,而 Amadori 化合物含量的高低又直接影响热加工食品的生理活性,因此研究热加工食品中 Amadori 化合物的含量变化具有重要意义。

目前,关于 Amadori 化合物的研究主要集中在不同食品中 Amadori 化合物含量的测定[11-14]及传统加工贮藏过程中 Amadori 化合物含量变化的监控上[15-17],对于如何改进热处理工艺以提高 Amadori 化合物含量,又达到产品常规指标要求的研究尚未见报道。番茄富含还原糖及氨基化合物,相比于其他水果蔬菜更容易形成 Amadori 化合物。因此作者选择番茄粉作为试验原料,以 8 种 Amadori 化合物的含量为评价指标,探究了水分活度、温度、时间、组氨酸添加量、抗氧化剂添加量对 Amadori 化合物含量的影响,采用正交试验法对番茄粉热加工工艺进行优化,制备出高 Amadori 化合物含量的番茄粉,从而为制备高生理活性的番茄制品提供了一种可能。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

谷氨酸与葡萄糖 Amadori 化合物(Fru-Glu)、甲硫氨酸与葡萄糖 Amadori 化合物(Fru-Met)、苯丙氨酸与葡萄糖 Amadori 化合物(Fru-Phe)、丙氨酸与葡萄糖 Amadori 化合物(Fru-Ala)、缬氨酸与葡萄糖 Amadori 化合物(Fru-Val)、组氨酸与葡萄糖 Amadori 化合物(Fru-His)、精氨酸与葡萄糖 Amadori 化合物(Fru-Arg)、异亮氨酸与葡萄糖 Amadori 化合物(Fru-Leu)标准对照品:作者采用化学合成法自制(其结构经红外光谱、三重四级杆质谱及核磁共振表征,纯度均大于 98%);试验用水:Mili-Q 超纯水;甲醇、甲酸:美国 TEDIA 公司产品;番茄粉:实验室自制;C18 固相萃取小柱:美国 SEPAX 公司产品;UPLC-TQD 超高效液相色谱-三重四级杆串联质谱:美国 Waters 公司产品;Masslynx 4.1 工作站;电子天平:梅特勒-托利多仪器上海有限公司产品;FZ102 型微型植物粉碎机:上海岩征生物科技有限公司产品。

1.2 番茄粉中 Amadori 化合物检测方法建立

1.2.1 混合标准溶液的配置 精确称取 8 种 Amadori 化合物,超纯水溶解,定容于 50 mL 容量瓶中,得到标准储备液。取标准储备液适量并用超纯水稀释定容,按表 1 配置 6 种不同质量浓度的混合标准溶液。

表 1 标准工作液质量浓度范围

Table 1 Concentrations of standards

mg/L

物质	1	2	3	4	5	6
Fru-Glu	20.00	40.00	80.00	160.00	320.00	640.00
Fru-His	1.35	2.70	5.40	10.80	21.60	43.20
Fru-Arg	1.35	2.70	5.40	10.80	21.60	43.20
Fru-Met	0.50	1.00	2.00	4.00	8.00	16.00
Fru-Leu	1.35	2.70	5.40	10.80	21.60	43.20
Fru-Val	1.35	2.70	5.40	10.80	21.60	43.20
Fru-Ala	1.35	2.70	5.40	10.80	21.60	43.20
Fru-Phe	2.00	4.00	8.00	16.00	32.00	64.00

1.2.2 UPLC-MS/MS 条件 液相条件:ACQUITY C18 柱。A 相:甲醇;B 相:体积分数0.1%甲酸水;流量:0.3 mL/min;柱温:35 ℃;梯度洗脱程序:初始条件为 B 相 100%,1 min 到 5 min 内B 相由 100%变为 90%,5 min 到 6 min 内 B 相由90%变为 50%,6 min 到 7 min 内 B 相由 50%变为100%,7 min 之后 B 相保持100%,总运行时间 13 min。进样体积:1 μL。

质谱条件:电喷雾离子源(ESI),正离子电离模式(ESI⁺),多反应检测模式(MRM),离子源温度:120 ℃;脱溶剂气温度:400 ℃;毛细管电压:2.5 kV;脱溶剂气流量:600 L/h;锥孔电压:30 V;锥孔气流量:50 L/h;碰撞能量:20 V;质量范围:*m/z* 100~1 000;检测电压:1 600 V;高纯氮气(99.999%)。

1.2.3 样品的预处理 准确称取 4.000 0 g 番茄粉于 150 ml 锥形瓶中,加入 5 mL 质量浓度为 1 mg/L 的咖啡因作为内标,同时加入 45 mL 超纯水,高速震荡30 s,在功率 100 W 的条件下超声萃取 10 min,10 000 r/min 冷冻离心 10 min,取上清液过 C18 固相萃取小柱,净化后的液体用 0.22 μm 的滤膜,进行 UPLC-MS/MS 分析。

1.2.4 提取条件的选择 准去称取 4.000 0 g 番茄粉于 150 mL 锥形瓶中,加入 5 mL 质量浓度为 1 mg/L 的咖啡因作为内标,同时加入 50 mL 超纯水,高速震荡 30 s,研究提取溶剂(水、甲醇、乙醇)和提取时间对 8 种 Amadori 化合物提取得率的影响。

1.3 高 Amadori 化合物番茄粉热处理条件优化

1.3.1 热处理单因素试验 准确称取 10.000 0 g 番茄粉于真空包装袋中,真空密封,置于水浴锅中进行加热处理。研究番茄粉水分活度,加热温度,加热时间,氨基酸添加量及抗氧化剂添加量对 8 种 Amadori 化合物生成量的影响。以 8 种 Amadori 化合物生成量为评价指标,确定加工工艺。

1.3.2 正交试验设计 为优化热处理工艺,根据单因素实验结果,选取水分活度,加热温度,加热时间,氨基酸添加量及抗氧化剂添加量为实验因素,设计五因素四水平的正交试验,以 8 种 Amadori 化合物总量和 Fru-His 含量为指标,并进行极差分析,选择最优组合,从而确定最高 Amadori 化合物及 Fru-His 含量的番茄粉制备工艺。正交设计试验因素水平见表 2。

表 2 正交试验表

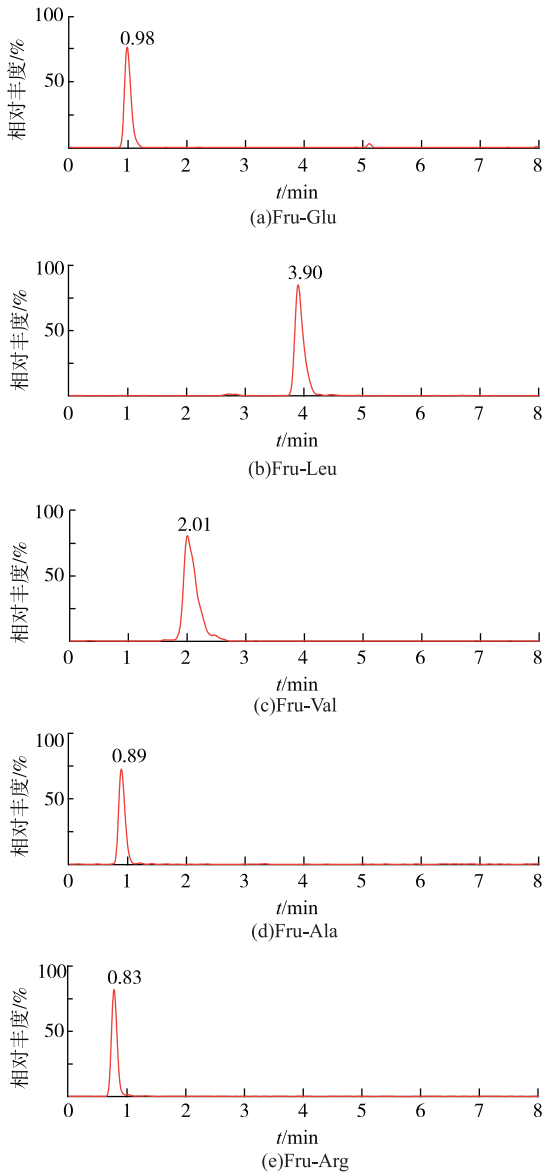
Table 2 Orthogonal experiments

水平	因素				
	A 水分活度	*B* 温度/℃	*C* 时间/h	*D* 氨基酸/(mg/g)	*E* 抗氧化剂/(mg/g)
1	0.29	54	3.4	2.8	0.048
2	0.34	58	3.8	3.6	0.056
3	0.39	62	4.2	4.4	0.064
4	0.44	66	4.6	5.2	0.072

2 结果与分析

2.1 超高效液相色谱质谱标准品的检测结果

2.1.1 8 种 Amadori 化合物混合标准曲线及色谱图 将 1.2.1 中的混合标准溶液在 1.2.2 的超高效液相色谱质谱条件下检测,图 1 显示了 8 种 Amadori 化合物的 MRM 色谱图。将目标物与内标峰面积之比(*Y*)和目标物与内标质量浓度之比(*X*)进行线性回归分析,得到标准线性方程、相关系数及线性范围,结果见表 3。



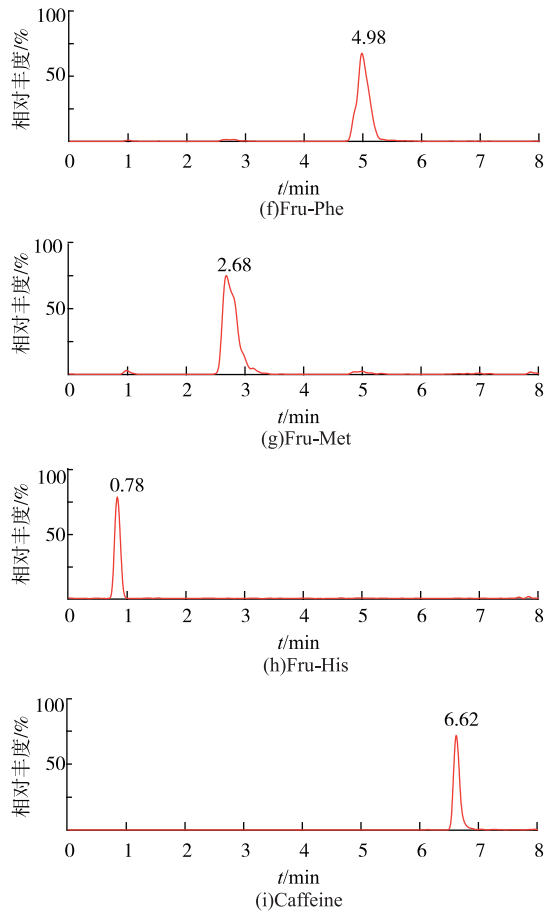


图 1 8 种 Amadori 化合物的 MRM 色谱图

Fig. 1 Typical chromatographic profiles of eight ACs using ACQUITY C18 Column with the addition of internal standard (caffeine) under optimization LC-MS-MS conditions

表 3 标准回归方程、相关系数和质量浓度线性范围

Table 3 Linearity and detection limit

分析物	回归方程 Y =a X +b	R^2	质量浓度/(mg/L)
Fru-Glu	Y = 0.042 7X+ 0.287 6	0.996 6	20.00~640.00
Fru-His	Y= 0.136 2X- 0.031 1	0.992 5	1.35~43.20
Fru-Arg	Y= 0.026 3X- 0.146 7	0.998 3	1.35~43.20
Fru-Met	Y = 0.251X- 0.248 3	0.999 2	0.50~16.00
Fru-Leu	Y= 0.233X- 0.075 1	0.992 5	1.35~43.20
Fru-Val	Y= 0.112 9X+ 0.295 4	0.997 7	1.35~43.20
Fru-Ala	Y= 0.118 4X+ 0.162 7	0.994 8	1.35~43.20
Fru-Phe	Y= 0.184 1X - 0.039 4	0.995 5	2.00~64.00

2.1.2 回收率试验 采用在番茄粉中加标的方法测定 Amadori 化合物的回收率。表 4 显示，回收率 86.54%~101.87%，相对标准偏差 1.38%~4.49%，表明该方法具有较好的再现性。

2.2 番茄粉中 Amadori 化合物提取条件优化

2.2.1 提取溶剂对提取得率的影响 根据预实验结果，发现超声的提取方式更加省时、高效，因此选择超声的提取方式，对提取溶剂进行了筛选。试验结果如图 2 所示。从图中可以看出水的提取效果明显高于其他两种溶剂。这可能是因为 Amadori 化合物作为一种多羟基化合物，具有很强的极性[18]。根据“相似相溶”原理，水的提取效果最好，甲醇次之，乙醇最差，所以选择水为提取溶剂。

2.2.2 提取时间对提取得率的影响 由图 3 可知随着提取时间的增加，Amadori 化合物的得率先增大后减小。当提取时间为 10 min 时，8 种 Amadori

表 4 回收率和精密度结果(n=5)

Table 4 Results of recovery and precision (n=5)

物质	质量浓度/(μg/mL)	加入量/(μg/mL)	检出量/(μg/mL)	回收率/%	(平均回收率±SD)/%	R.S.D. /%
Fru-Glu	152.62	76.31	221.62±3.92	90.42	92.18±1.73	1.87
		152.62	293.41±4.73	92.25		
		305.24	439.15±7.17	93.87		
Fru-His	3.31	1.65	4.96±0.25	100.14	96.20±3.61	3.75
		3.31	6.39±0.26	93.06		
		6.62	9.62±0.55	95.40		
Fru-Arg	14.00	7.00	19.99±1.04	85.64	86.54±1.19	1.38
		14.00	26.05±1.27	86.08		
		28.00	38.61±1.13	87.89		
Fru-Met	1.40	0.70	2.01±0.11	87.63	87.47±1.75	2.00
		1.40	2.60±0.12	85.64		
		2.80	3.90±0.17	89.13		
Fru-Leu	7.14	3.57	10.64±0.42	97.90	93.19±4.18	4.49
		7.14	13.56±0.68	89.90		
		14.28	20.25±0.91	91.78		
Fru-Val	3.08	1.54	4.53±0.23	94.28	90.77±3.32	3.66
		3.08	5.78±0.22	87.67		
		6.16	8.65±0.42	90.37		

续表 4

物质	质量浓度/(μg/mL)	加入量/(μg/mL)	检出量/(μg/mL)	回收率/%	(平均回收率)±SD/%	R.S.D. /%
Fru-Ala	9.80	4.90	14.88±0.67	103.74	101.87±3.62	3.56
		9.80	20.01±0.84	104.17		
		19.60	28.95±0.99	97.69		
Fru-Phe	15.80	7.90	22.99±0.92	90.97	88.59±2.46	2.78
		15.80	29.82±1.21	88.74		
		31.60	42.99±2.37	86.05		

化合物的提取总量最大，除 Fru-Met 和 Fru-Ala 以外，其他 6 种 Amadori 化合物的质量分数均为最大值。当提取时间过长时,其他 6 种 Amadori 化合物会在超声的作用下发生降解,质量分数会有明显的降低,而上述两种 Amadori 化合物的增加量不显著,因此提取时间应选择 10 min 为宜。

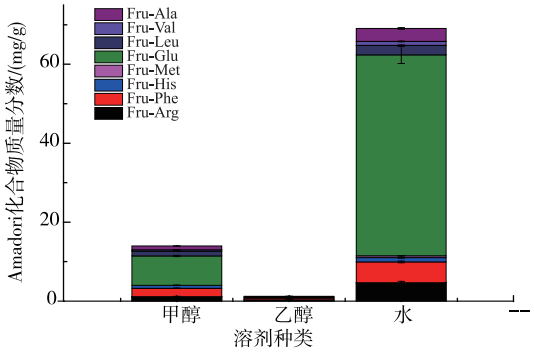


图 2　提取溶剂对 Amadori 化合物质量分数的影响

Fig. 2　Effect of solvent on Amadori Compounds yield

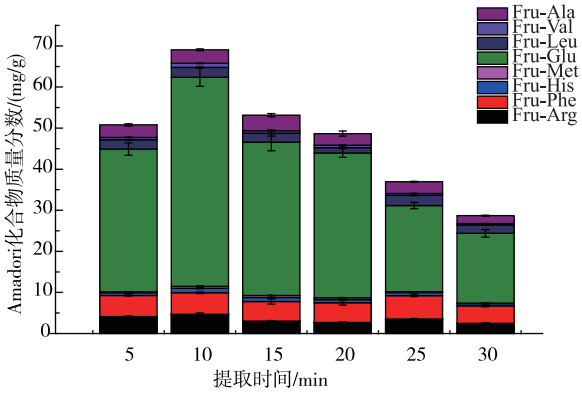


图 3　提取时间对 Amadori 化合物质量分数的影响

Fig. 3　Effect of extraction time on Amadori Compounds yield

2.3　高 Amadori 化合物质量分数番茄粉热处理工艺优化

2.3.1　*番茄粉水分活度对 Amadori 化合物质量分数影响*　由图可知 8 种 Amadori 化合物的质量分数均随着水分活度的增加先增大后减小,当番茄粉的水分活度为 0.34 时,Amadori 化合物的质量分数达到最大值。这是因为氨基酸和葡萄糖发生脱水反应,经 Amadori 重排生成有活性的极性小分子，是一个可逆反应[18]。当番茄粉的水分活度增大时,不利于脱水反应的发生,反应向逆方向进行,Amadori 化合物质量分数降低，因此较低的水分活度更有利于 Amadori 化合物的生成。

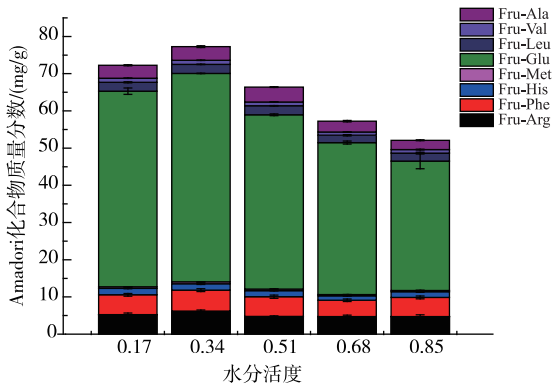


图 4　水分活度对 Amadori 化合物质量分数的影响

Fig. 4　Effect of different water activity on Amadori Compounds yield

2.3.2　*温度对番茄粉中 Amadori 化合物质量分数的影响*　温度是影响美拉德反应的重要因素，由图 5 可知,随着温度的上升,8 种 Amadori 化合物的质量分数均有不同程度的增加,当反应温度为 60 ℃时,8 种 Amadori 化合物的质量分数总和达到最大值,同时其中 7 种 Amadori 化合物的质量分数均达到最大值。这可能是因为在一定温度范围内,温度的升高有利于提高番茄粉中糖和氨基酸的反应活性,使得 Amadori 化合物的产量逐渐上升。当反应温度高于 60 ℃时，尽管 Fru-Ala 的质量分数有微量上升,但其它 7 种 Amadori 化合物含量均有显著降低。Amadori 化合物作为美拉德反应的前期产物，它的形成和降解是同时发生的，在温度较高的条件下,Amadori 化合物的降解速率大于生成速率，会进一步反应生成类黑素等后期产物。故反应温度选择 60 ℃为宜。

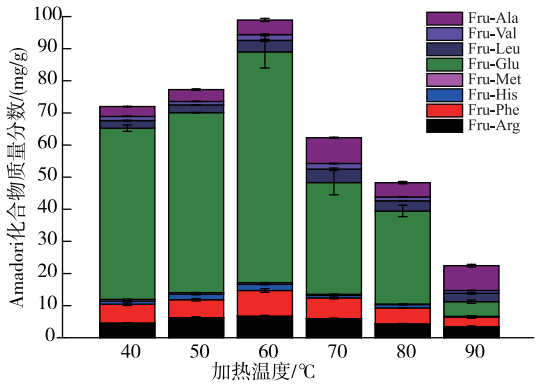


图 5 温度对 Amadori 化合物质量分数的影响

Fig. 5 Effect of different temperature on Amadori Compounds yield

2.3.3 时间对番茄粉中 Amadori 化合物质量分数的影响 从图 6 可以看出随着加热时间的增大，Amadori 化合物的含量有一个明显上升的过程，当加热时间超过 4 h 时，8 种 Amadori 化合物的质量分数均有明显下降，尤其是 Fru-Glu 和 Fru-His 的含量显著降低。这可能是因为随着加热时间的增加，Amadori 化合物继续参与反应生成类黑素等晚期糖基化产物。故番茄粉的加热时间应选择 4 h。

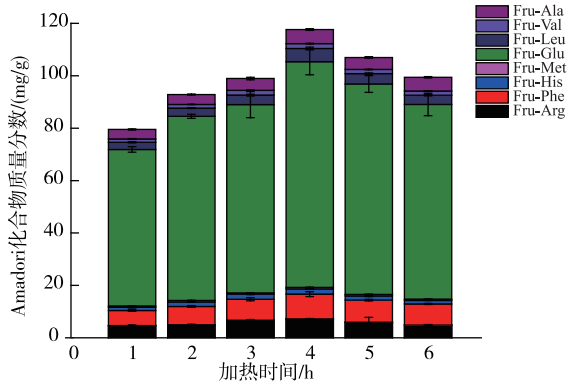


图 6 时间对 Amadori 化合物质量分数的影响

Fig. 6 Effect of different heating time on Amadori Compounds yield

2.3.4 组氨酸添加量对番茄粉中 Amadori 化合物质量分数的影响 Fru-Glu 和 Fru-His 可以有效抑制血管紧张素转化酶(ACE)的活性[6]。目前，常用抑制 ACE 的活性来治疗高血压。由试验可知 Fru-Glu 是番茄粉中的质量分数最高的 Amadori 化合物，而 Fru-His 含量较低，因此选择外源添加组氨酸的方法来提高番茄粉中 Fru-His 的含量，从而提高番茄粉的生物活性。由图 7 可知，随着组氨酸添加量的不断增加，Fru-His 的含量逐渐上升。当组氨酸的添加量为 4 mg/g 时，8 种 Amadori 化合物的质量分数达到最大值；当组氨酸的添加量大于 4 mg/g 时，其他 7 种 Amadori 化合物的质量分数均有明显的降低。这可能是因为组氨酸的反应活性较高，优先与葡萄糖发生反应，从而使得其他 7 种氨基酸与葡萄糖发生反应的速率下降。因此组氨酸的添加量为 4 mg/g。

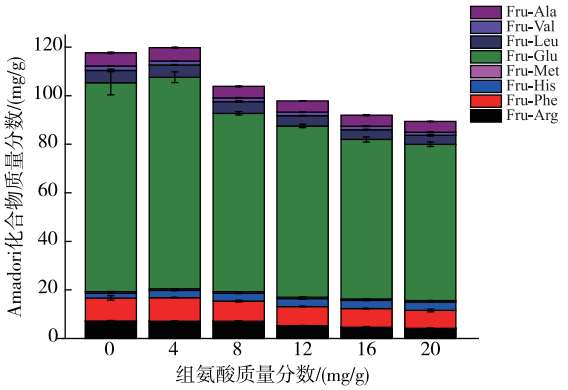


图 7 组氨酸添加量对 Amadori 化合物质量分数的影响

Fig. 7 Effect of L-Histidine on Amadori Compounds yield

2.3.5 抗氧化剂添加量对番茄粉中 Amadori 化合物质量分数的影响 通过预实验，选择茶多酚作为抗氧化剂来抑制美拉德后期反应的发生。由图 8 可知，当抗氧化剂的添加量在 0~0.06 mg/g 时，8 种 Amadori 化合物的质量分数均随着抗氧化剂的增加而增加。这可能是因为茶多酚能够清除美拉德反应中产生的自由基，从而抑制美拉德后期褐色产物的生成，促进前期 Amadori 化合物的生成[19]。当抗氧化剂的添加量大于 0.06 mg/g 时，8 种 Amadori 化合物的质量分数随着抗氧化剂的增加而明显降低，尤其是 Fru-Glu 和 Fru-His 的质量分数明显降低。这是因为茶多酚的化学结构使其可能会参与美拉德后期产物的形成，当抗氧化剂的质量分数超过一定范围时，反而有利于美拉德后期产物的生成，从而减少 Amadori 化合物的形成。故抗氧化剂的添加量应选择 0.06 mg/g 为宜。

2.3.6 正交试验结果与分析 根据单因素结果，在正交试验中，考虑到 Fru-His 的高生理活性，故以 8 种 Amadori 化合物总质量分数和 Fru-His 质量分数为评价指标，考察了各因素对 Amadori 化合物总质量分数和 Fru-His 质量分数的影响情况。正交试验设计及结果如表 5 所示。

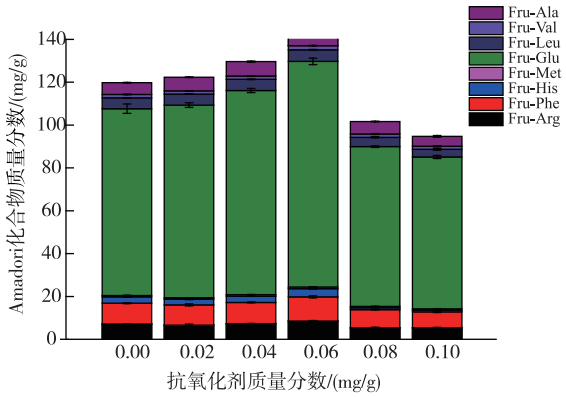


图 8　抗氧化剂添加量对 Amadori 化合物质量分数的影响

Fig. 8　Effect of antioxidants on Amadori Compounds yield

采用综合平衡分析法对结果进行分析。比较表中的极差 R 值可知，对 Amadori 化合物总量影响因素主次是 $E>B>C>A>D$，即关键影响因素为抗氧化剂添加量、温度和时间，其他为次要因素，由 K 值大小可知因素最优水平组合为 $B_1C_3E_1$；对 Fru-His 含量影响因素主次是 $E>A>C>B>D$，即关键影响因素为抗氧化剂添加量、水分活度，由 K 值大小可知因素最优的水平组合为 A_4E_1。因此较优热处理工艺为 $A_4B_1C_3E_1$，由于 Amadori 化合物总质量分数为相对重要的指标，故因素 D 选择 D_1。综上所述分析，最佳的生产工艺应为 $A_4B_1C_3D_1E_1$，即抗氧化剂添加量为 0.048 mg/g，反应温度为 54 ℃，反应时间为 4.2 h，水分活度为0.44，组氨酸添加量为 2.8 mg/g。

表 5　正交试验表及结果

Table 5　Design and the results of the orthogonal experiments

序号	A	B	C	D	E	总质量分数/(mg/g)	Fru-His/(mg/g)
1	1	1	1	1	1	151.15	1.97
2	1	2	2	2	2	103.04	1.61
3	1	3	3	3	3	130.94	1.62
4	1	4	4	4	4	56.45	0.33
5	2	1	2	3	4	75.37	0.64
6	2	2	1	4	3	80.09	1.40
7	2	3	4	1	2	79.56	1.34
8	2	4	3	2	1	111.21	3.20
9	3	1	3	4	2	104.67	2.31
10	3	2	4	3	1	112.56	3.45
11	3	3	1	2	4	64.33	1.29
12	3	4	2	1	3	65.83	0.62
13	4	1	4	2	3	84.78	1.66
14	4	2	3	1	4	96.55	2.71
15	4	3	2	4	1	100.00	4.46
16	4	4	1	3	2	69.15	2.00
K_1	110.40	103.99	91.18	98.27	118.73		
K_2	86.56	98.06	86.06	90.84	89.11		
K_3	86.85	93.71	110.84	97.01	90.41		
K_4	87.62	75.66	83.34	85.30	73.18		
R	23.84	28.33	27.50	12.97	45.55		
T_1	1.38	1.64	1.66	1.66	3.27		
T_2	1.64	2.29	1.83	1.94	1.82		
T_3	1.92	2.18	2.46	1.93	1.32		
T_4	2.71	1.54	1.70	2.12	1.24		
R'	1.33	0.75	0.80	0.46	2.03		

注：K_1，K_2，K_3，K_4 均为总质量分数在同一水平下的平均值，R 为总质量分数的极差；T_1，T_2，T_3，T_4 为 Fru-His 在同一水平下的平均值，R’ 为 Fru-His 的极差。

2.3.7 验证试验　按照 $A_4B_1C_3D_1E_1$ 条件进行 3 次放大平行试验，总 Amadori 化合物的质量分数均值为 152.59 mg/g,Fru-His 质量分数为 3.32 mg/g,质量分数均有提高,证明工艺有效。

3 结 语

在利用 UPLC-MS/MS 方法检测果蔬制品中 Amadori 化合物含量的基础上，进一步优化了番茄粉的前处理提取条件,研究结果显示以水为提取溶剂，超声提取 10 min 时,Amadori 化合物的提取得率最高。同时探讨了高 Amadori 化合物番茄粉的制备工艺,以 8 种 Amadori 化合物总质量分数及 Fru-His 的质量分数为评价标准，通过单因素及正交试验分析了影响番茄粉中 8 种 Amadori 化合物生成量的因素,进而得到了最佳的热处理工艺:抗氧化剂添加量 0.048 mg/g,反应温度 54 ℃,反应时间 4.2 h,水分活度 0.44，组氨酸添加量 2.8 mg/g。在此条件下，总 Amadori 化合物的质量分数为 152.59 mg/g,Fru-His 质量分数为 3.32 mg/g。该方法为制备富含 Amadori 化合物的番茄粉奠定了基础。

参考文献:

[1] MOSSINE V V,MAWHINNEY T P. 1-Amino-1-deoxy-d-fructose(“Fructosamine”) and its Derivatives[J]. 2010,64:291-402.
[2] FERRARI E,GRANDI R,LAZZARI S,et al. 1H,13C,195Pt NMR study on platinum (II) interaction with sulphur containing Amadori compounds[J]. **Polyhedron**,2007,26(15):4045-4052.
[3] TONKOVIC M,JAKAS A,HORVAT S. Preparation and properties of an Fe (III)-complex with an Amadori compound derived from L-tyrosine[J]. **Biometals**,1997,10(1):55-59.
[4] MOSSINE V V,MAWHINNEY T P. N-alpha-(1-DeOXY-D-fructos-1-yl)-L-histidine("D-fructose-L-histidine"):a potent copper chelator from tomato powder[J]. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**,2007,55(25):10373-10381.
[5] GYURCSIK B,GAJDA T,NAGY L,et al. Proton,copper(II) and nickel(II) complexes of some amadori rearrangement products of D-glucose and amino-acids[J]. **Inorganica Chimica Acta**,1993,214(1-2):57-66.
[6] YU J,ZHANG S,ZHANG L. Amadori compounds as potent inhibitors of angiotensin-converting enzyme(ACE) and their effects on anti-ACE activity of bell peppers[J]. **Journal of Functional Foods**,2016,27:622-630.
[7] PANNELLINI T,IEZZI M,LIBERATORE M,et al. A tietary tomato supplement prevents prostate cancer in TRAMP mice[J]. **Cancer Prev Res**,2010,3(10):1284-1291.
[8] MOSSINE V V,CHOPRA P,MAWHINNEY T P. Interaction of tomato lycopene and ketosamine against rat prostate tumorigenesis[J]. **Cancer Research**,2008,68(11):4384-4391.
[9] TAN H L,THOMAS-AHNER J M,GRAINGER E M,et al. Tomato-based food products for prostate cancer prevention:what have we learned?[J]. **Cancer Metastasis Reviews**,2010,29(3):553-568.
[10] RYU K I N,MATSUURA H,ET AL. Nα-(1-Deoxy-d-fructos-1-yl)-l-Arginine,an antioxidant compound identified in aged garlic extract[J]. **The Journal of Nutrition**,2001,131(3):972S-976S.
[11] MEITINGER M,HARTMANN S,SCHIEBERLE P. Development of stable isotope dilution assays for the quantitation of amadori compounds in foods[J]. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**,2014,62(22):5020-5027.
[12] DELGADO-ANDRADE C,SEIQUER I,HARO A,et al. Development of the Maillard reaction in foods cooked by different techniques. Intake of Maillard-derived compounds[J]. **Food Chemistry**,2010,122(1):145-153.
[13] DELGADO-ANDRADE C,MORALES F J,SEIQUER I,et al. Maillard reaction products profile and intake from Spanish typical dishes[J]. **Food Research International**,2010,43(5):1304-1311.
[14] GONG Dan,ZHOU Zhilei,MENG Xiangyong,et al. Preparation of cigarette spices with caramel flavor using pineapple concentrates as sugar sources[J]. **Journal of Food Science and Biotechnology**,2017,36(1):105-111.(in Chinese)
[15] WELLNER A,HUETTL C,HENLE T. Formation of Maillard reaction products during heat treatment of carrots [J]. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**,2011,59(14):7992-7998.
[16] GAMBOA-SANTOS J,MEGIAS-PEREZ R,SORIA A C,et al. Impact of processing conditions on the kinetic of vitamin C degradation and 2-furoylmethyl amino acid formation in dried strawberries[J]. **Food Chemistry**,2014,153:164-170.
[17] SANZ M L,DEL CASTILLO M D,CORZO N,et al. Presence of 2-furoylmethyl derivatives in hydrolysates of processed tomato products[J]. 2000,48(2):468-471.
[18] YAYLAYAN V A,HUYGHUES-DESPOINTES A. Chemistry of Amadori rearrangement products:analysis,synthesis,kinetics,reactions,and spectroscopic properties[J]. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**,1994,34(4):321-369.
[19] HODG J E. Dehydrated foods,chemistry of browning reactions in model systems [J]. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**,1953,1(15):928-943.