

中图分类号: S532 文献标识码: A 文章编号: 1672-3635(2023)01-0062-08

DOI: 10.19918/j.cnki.1672-3635.2023.01.008

炸薯条和薯片的风味物质及影响因素

徐 健, 刘 琳, 姜 红, 刘 刚, 曾凡逵*

(中国科学院兰州化学物理研究所, 甘肃 兰州 730000)

摘 要: 随着休闲食品的日益盛行, 油炸马铃薯产品的消费日益增大。炸薯条和薯片, 以其松脆可口、口味多样、食用方便、老少皆宜等特点, 深受消费者喜爱。炸薯条中的主要风味物质包括吡嗪类化合物、2,4-癸二烯醛、2-癸烯醛、2-甲基丁醛、3-甲基丁醛、4-羟基-2,5-二甲基呋喃酮、甲基丙醇、甲硫醇等。薯片中的主要风味物质包括甲硫基丙醛、2,4-癸二烯醛、2-乙基-3,6-二甲基吡嗪、2,6-二乙基吡嗪、2-辛烯醛、2-苯乙醛等。其中最重要的风味物质是吡嗪类化合物, 这类物质具有强烈的新鲜马铃薯、烘烤马铃薯和马铃薯泥土味等令人愉悦的气味, 关键成分是2-乙基-3,5-二甲基吡嗪、3-乙基-2,5-二甲基吡嗪、2,3-二乙基-5-甲基吡嗪、2-乙基-3,6-二甲基吡嗪、2,6-二乙基吡嗪、3-异丁基-2-甲氧基吡嗪等。分别对炸薯条和薯片中风味物质的类型、非酶促褐变反应以及油炸时间、温度和光照对薯片风味的影响等方面进行综述, 并对油炸马铃薯产品在生产、加工和贮藏过程中影响其风味的诸多因素进行探讨, 重点分析决定油炸马铃薯风味的关键物质的含量和变化趋势, 对薯条和薯片相关产业的研究和发展起到指导作用。

关键词: 食品化学; 炸薯条; 薯片; 风味物质

Flavor Substances and Influencing Factors of French Fries and Potato Chips

XU Jian, LIU Lin, JIANG Hong, LIU Gang, ZENG Fankui*

(Lanzhou Institute of Chemical Physics, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou, Gansu 730000, China)

Abstract: With the popularity of snack food, the consumption of fried potato products is increasing. French fries and potato chips are loved by young and old consumers with its crunchy and delicious properties, diverse tastes and easy to eat characteristics. The main flavor substances in French fries include pyrazines, 2,4-decanodienal, 2-decenoaldehyde, 2-methylbutanal, 3-methylbutanal, 4-hydroxy-2,5-dimethylfuranone, methylpropanol and methanethiol, etc. The main flavor substances in potato chips include methylthio-propanaldehyde, 2,4-decanodienal, 2-ethyl-3,6-dimethylpyrazine, 2,6-diethylpyrazine, 2-octenal and 2-phenylacetaldehyde, etc. The most important flavor compounds are pyrazines, which have strong pleasant smells of fresh potatoes, baked potatoes and potato earth taste. The key components are 2-ethyl-3,5-dimethylpyrazine, 3-ethyl-2,5-dimethylpyrazine, 2,3-diethyl-5-methylpyrazine, 2-ethyl-3,6-dimethylpyrazine, 2,6-diethylpyrazine, 3-isobutyl-2-methoxypyrazine and so on. The review summarized the type of flavor substances in

收稿日期: 2022-10-09

基金项目: 财政部和农业农村部国家现代农业产业技术体系(CARS-09); 吉林省与中国科学院科技合作高技术产业化专项(2021SY-HZ0005)。

作者简介: 徐健(1980-), 男, 博士, 副研究员, 从事马铃薯营养和食品安全研究。

*通信作者(Corresponding author): 曾凡逵, 博士, 研究员, 主要从事马铃薯加工及营养研究, E-mail: zengfk@licp.cas.cn。

French fries and potato chips, non-enzymatic browning reaction and the influence of fried time, temperature and light on the flavor, respectively. Meanwhile, the factors affecting the flavor of fried potato during production, processing and storage were also discussed. Especially, the content and trend of the key substances determining the flavor of fried potato were analyzed. This review work would play a guiding role in the research and development of potato French fries and chips related industries.

Key Words: food chemistry; French fries; potato chips; flavor substance

马铃薯是世界上主要粮食作物之一, 有超过10亿人食用马铃薯。据估计, 全球每年马铃薯产量为3.7亿t, 这使其成为国际上第三大最重要的粮食作物, 中国还确立了马铃薯的主粮化地位^[1,2]。

马铃薯的风味是一个复杂的品质属性, 主要由味道(Taste)、香味(Aroma)和质地(Texture)组成: 味道是由非挥发性化合物形成的; 香味则与挥发性化合物有关; 质地作为一种口感, 与干物质及淀粉含量有关^[3]。马铃薯的风味前体在鲜马铃薯中主要由糖、氨基酸、核糖核酸和脂质组成^[4]。烹饪期间, 风味前体发生美拉德反应后生成的糖、脂质及RNA的降解物等产物, 对其风味产生了一定影响和改变^[5]。目前已知马铃薯的烹饪方式主要包括: 煮、烘烤、烧烤、油炸和微波等, 不同的加工方法对马铃薯的风味产生重要影响^[6]。

最初人们通过品尝的方式来鉴定马铃薯中的风味化合物及其差异。随着科技的发展, 一系列先进技术已用来确定和定量马铃薯风味的关键代谢物, 包括气相色谱-质谱联用(Gas Chromatography-Mass Spectrometer, GC-MS)、具有特定磷-氮检测器的气相色谱(Phosphorous Nitrogen Detector-Gas Chromatography, PND-GC)和气相色谱嗅觉测定(Gas Chromatography-Olfactometry, GC-O)等^[7], 他们对系列马铃薯品种及各种烹饪方法加工后马铃薯的风味特征进行了灵敏检测。近年来, 中国科学院兰州化学物理研究所材料与分离技术课题组综合运用感官评价和仪器分析技术(主要是气相色谱-质谱联用), 分别对生马铃薯、蒸煮马铃薯、烤马铃薯、炒土豆丝以及马铃薯加工产品(包括含马铃薯原料的面包、饼干和蛋糕等)中的挥发性风味物质进行了分析, 在马铃薯风味化合物研究领域取得了一定进展^[8-12]。

油炸是一种重要的食品加工方法, 可赋予食品特殊诱人的风味, 被广泛应用于快餐行业、方便食品以及零食加工企业。炸薯条和薯片是深受人们喜爱的煎炸食品, 在马铃薯制品中有将近1/3的马铃薯被加工成半油炸的冷冻马铃薯油炸品、油炸薯条或油炸薯片, 本综述主要概括近年来通过油炸烹饪方式加工马铃薯中风味物质的研究进展。

1 炸薯条的风味

Van等^[13]在法式炸薯条中鉴定出122种化合物, 这些化合物来源于糖降解和美拉德反应, 其余来自脂质降解。在这些化合物中, 感官分析所感知的41种气味大约由50种气味活性化合物组成。Carlin等^[14]对法式炸薯条中的风味物质进行比较系统的分类和总结(表1)。

其中, 吡嗪类化合物已被确定为炸薯条中占主导地位的主要成分物质, 其关键成分是2-乙基-3,5-二甲基吡嗪、3-乙基-2,5-二甲基吡嗪、2,3-二乙基-5-甲基吡嗪、3-异丁基-2-甲氧基吡嗪等。其他重要的炸薯条风味化合物包括2,4-癸二烯醛、2-癸烯醛、2-甲基丁醛、3-甲基丁醛、4-羟基-2,5-二甲基呋喃酮、甲基丙醇、甲硫醇等^[15]。

由于法式炸薯条是在油脂里面进行加热油炸, 因此其风味物质不仅是由马铃薯产生, 还包含所吸附脂肪中的风味物质, 以及马铃薯与油炸用脂肪发生反应后生成的风味物质。Kim和Lindsay^[16]报道了来自油炸介质中的挥发性脂肪酸可以吸附到法式炸薯条里面, 从而改变了法式炸薯条的脂肪酸组成。例如, 用牛油炸制的法式炸薯条, 薯条中就会有牛肉的风味, 这主要是由于牛油法炸制的薯条中含有丁烷、2-甲基丁烷、3-甲基丁烷、庚

酸、4-甲基庚酸、壬酸等物质, 这些物质的浓度都超过了嗅觉阈值, 而这些物质正是来源于牛油。

同时, 油炸温度和时间对吡嗪的形成有显著影响, 因此对炸薯条的风味也产生很大影响。食

用油的类型和重复使用油的次数使风味进一步复杂化, 在此过程中产生一些脂肪氧化或过氧化的产物, 如己醛, 从而在油炸薯条中产生一定的不良风味^[17]。

表1 法式炸薯条中挥发性风味物质
Table 1 Volatile flavor compounds in French fries

种类 Type	化合物 Compound
醛类 Aldehyde	3-甲基丁醛、二甲基乙醛、己醛、2-甲基丁醛、庚醛、辛醛、壬醛、戊醛、2-乙基丁醛、癸醛、2-癸烯醛、苯甲醛、顺式-4-癸烯醛、2,4-癸二烯醛、3-(甲硫基)丙醛、顺式-4-庚烯醛、2-甲基-2-丁烯醛、2-乙基己醛、反式-2,4-二烯醛、2-乙基-2-己烯醛、2-甲基-2-戊烯醛、3-羟基苯甲醛、2-苯基-2-丁烯醛、1,4-二羧基苯甲醛、5-甲基-2-苯基-2-己烯醛、苯乙醛、4-对羟基苯甲醛、2-甲基苯甲醛
酯类 Ester	乙酸乙酯、乙酸苯酯、棕榈酸甲酯、己二酸二异丁酯、苯甲酸甲酯、异丁酸甲酯、邻苯二甲酸二甲酯、3-甲基苯甲酸酯、己二酸二异丁酯、邻苯二甲酸二乙酯、2,2,4-三甲基-二异丁酸脂
酮类 Ketone	2,3-丁二酮、2-辛酮、环戊酮、3-戊烯-2-酮、2-己酮、3-庚酮、2-戊基癸酮、2,3-戊二酮、2-壬酮、3-辛酮、2-癸酮、4-甲基-2-戊酮、3-辛烯-2-酮、4-羟基-2,5-二甲基呋喃酮、2-十三烷酮、2-十一酮、2-甲基环戊酮、2-十二酮、3-羟基-2-丁酮、2-乙基-2-环戊烯-1-酮、4-甲基-3-戊烯-2-酮、3-甲基环戊酮、1-羟基-2-丙酮、2-庚酮
醇类 Alcohol	正戊醇、乙醇、正庚醇、正己醇、正辛醇、1-辛烯-3-醇、1-甲基丙醇、正丁醇、正壬醇、3-戊烯-2-醇、1-戊烯-3-醇、4-辛醇、3-辛醇、2-辛醇、2-甘醇、2-庚醇、2-己醇、正癸醇、2-乙基-1-己醇、顺式-2-戊烯-1-醇
酸类 Acid	醋酸、己酸、2-甲基丁酸、3-甲基丁酸、壬酸、2-甲基苯甲酸、辛酸、戊酸、苯甲酸、4-甲基苯甲酸、丁酸、2-乙基苯甲酸、庚酸、辛烯酸、顺式-4-庚酸、7-甲基辛酸、6-甲基庚酸、顺式-2-辛烯酸、4-甲基辛酸、反式-2-辛烯酸
烷烃类 Hydrocarbon	3-甲基庚烷、癸烷、十一烷、壬烷、4-甲基癸烷、3-甲基壬烷、4-乙基-2-辛烯、十二烷、3-壬炔、丁基环己烷、1-戊烯、2,5-二甲基辛烷、2,7-二甲基辛烷、5-十一烯、癸烷、二乙基环己烷、十三烷、十四烷、十五烷、4-甲基壬烷、戊基环己烷、1-甲基-2-乙基环己烷、壬烯、十七烷、辛烷、2-甲基十二烷、十八烷、金刚烷、3-甲基庚烷、癸烷、十一烷、壬烷
吡嗪类 Pyrazine	吡嗪、甲基吡嗪、2-乙基-3,5-二甲基吡嗪、3-乙基-2,5-二甲基吡嗪、三甲基吡嗪、2,5-二甲基吡嗪、2,3-二乙基-5-甲基吡嗪、2,5-二甲基-3-异戊基吡嗪、2,6-二甲基吡嗪、3,5-二甲基-2-乙基吡嗪、2-甲基-6-乙基吡嗪、2-甲基-5-乙基吡嗪、2,3-二甲基-5-丁基吡嗪、3-异丁基-2-甲氧基吡嗪、2,5-二乙基-3-甲基吡嗪、3,5-二乙基-2-甲基吡嗪、2-异戊基-3-甲基吡嗪、四甲基吡嗪、2-乙基-6-丙基吡嗪、2-乙酰基-3-甲基吡嗪、2,6-二甲基-3-丁基吡嗪、三乙基吡嗪、2-甲基-5-丙基吡嗪、2-甲基-5-戊基吡嗪、2-丁基-3,5,6-三甲基吡嗪、2-庚基吡嗪、2,5-二甲基-3-乙基吡嗪、2-甲基-6-丙基吡嗪
呋喃类 Furans	2-戊基呋喃、2-壬基呋喃、2-丁基呋喃、2-己基呋喃、2-辛基呋喃、2-丙基呋喃、2-庚基呋喃、2-乙酰基-5-甲基呋喃、2-丙酰基呋喃、2-己酰基呋喃、2-丙基呋喃、2-乙酰基呋喃、2-丁基四氢化呋喃、2,4-二甲基呋喃
噻唑类 Thiazole	4,5-二甲基-2-戊基噻唑、4,5-二甲基-2-丁基噻唑、4-甲基-5-乙基-2-戊基噻唑、2-庚基苯并噻唑、4,5-二甲基-2-己基噻唑、4,5-二甲基-2-辛基噻唑、2-戊基苯并噻唑、4,5-二甲基-2-异丙基噻唑、5-甲基-4-乙基-2-庚基噻唑、4-甲基-2-乙基-5-丙基噻唑、5-甲基-4-丙基-2-丁基噻唑、2-壬基苯并噻唑、2-戊基-4,5-二丙基噻唑、2,5-二异丙基噻唑、4-甲基-5-乙基-2-辛基噻唑、三甲基噻唑、2-甲基-4-壬基-苯并噻唑、5-丙基-2-戊基噻唑、2-甲基-4,5-二丙基噻唑、2-甲基-4-己基-苯并噻唑、2,4-二乙基-5-丙基噻唑、4-甲基-5-乙基-2-己基噻唑、4,5-二甲基-2-庚基噻唑、2-己基苯并噻唑
其他含硫化合物 Other sulfur compound	甲硫醇、二异丁基二硫化物、二甲基三硫化物、2-戊基甲硫醇、丙基含硫乙酸盐、二甲基四硫化物、2,3-二硫杂己烷、二丁基二硫化物、二异丙基二硫化物、甲基丙基二硫化物、甲基丙基三硫化物、4,4-二甲基-2,3-二硫杂戊烷、3,4-二甲基-2-戊基硫化物、3-(甲硫基)-正丁醛、3-(甲硫基)-庚醛

刘爽等^[18]研究了马铃薯制作的酥脆薯条的挥发性气味特征。结果表明, 适当降低冷冻温度、延长冷冻时间, 可提高薯条的酥性、脆度和强度, 降低断裂能。油炸温度和时间增加

会显著提高薯条的酥脆性, 降低薯条的水分含量, 但脂肪含量较高。与薯条酥脆性相关的风味物质包括: 丰富的安息香醛、(E,E)-2,4-癸二烯醛、柠檬烯等油炸产品典型气味活性物质和壬

醛、癸醛、邻苯二甲酸二异丁酯等马铃薯特征气味物质。

2 炸薯片的风味

薯片是马铃薯加工品中脂肪含量最高的产品。由于薯片很薄，比表面积大，吸收很多油，甚至有些薯片的脂肪含量超过了50%。除了高脂肪食物贮藏过程中产生的脂肪氧化产物，高温油炸过程中，脂肪与马铃薯块茎当中各种成分发生

反应也产生了大量挥发性风味物质。

2.1 炸薯片中的主要风味物质

Buttery 等^[19]对薯片的挥发性风味物质进行了比较系统的研究，鉴定出了多种醛类物质、酯类物质、酮类物质、醇类物质、酸类物质、烷烃类物质、吡嗪类物质、呋喃类物质、噻唑类物质和含硫化合物(表2)。研究发现，在薯片贮藏过程中，被认为具有令人愉悦气味的乙醛和丁二酮含量逐步降低，而2-丙烯醛含量逐步增加。

表2 薯片中挥发性风味物质
Table 2 Volatile flavor compounds in potato chips

种类 Type	化合物 Compound
醛类 Aldehyde	乙醛、丙醛、辛醛、庚醛、正丁醛、戊醛、己醛、壬醛、2-丙烯醛、2-甲基丁醛、2-戊烯醛、2-丁烯醛、3-甲基丁醛、2-甲基乙醛、2-己烯醛、2-壬烯醛、2-辛烯醛、2,4-癸二烯醛、2-异丙基-2-丁烯醛、顺式-3-己烯醛、反式-2-庚烯醛、反式-4-二烯醛、4-甲基-2-戊烯醛、反式-2-己烯醛、反式-2-辛烯醛、4-甲基-2-己烯醛、5-甲基-反式-2-己烯醛
酯类 Ester	乙酸乙酯、邻苯二甲酸二甲酯、乙酸丙酯、3-甲基苯甲酸酯、乙酸丁酯、邻苯二甲酸二乙酯、苯甲酸甲酯
酮类 Ketone	丙酮、2-丁酮、2,3-丁二酮、2-戊酮、反式-3-戊烯-2-酮、2,3-戊二酮、2-己酮、5-甲基-2,3-己二酮、2-庚酮、2-辛酮、2-壬酮、反式-2-壬烯-4-酮、2-癸酮、环戊酮、乙酰苯
醇类 Alcohol	乙醇、2-丁醇、3-甲基-1-丁醇、1-戊醇、2-糠醇、 α -松油醇
酸类 Acid	乙酸、丙酸、异丁酸、丁酸、异戊酸、戊酸、己酸、庚酸、辛酸、癸酸、月桂酸
烷烃类 Hydrocarbon	2-甲基-1-丁烯、庚烷、壬烷、癸烷、1-癸炔、十一烷、十四烷、对乙酸-3-烯、 α -松油烯、柠檬烯、乙苯、丁苯、三甲基苯、5-乙基-1,3-二甲苯
吡嗪类 Pyrazine	2,5-二甲基吡嗪、2-甲基吡嗪、2,3-二甲基吡嗪、2,5-二甲基吡嗪、2,6-二甲基吡嗪、2-乙基吡嗪、2-乙基-3-甲基吡嗪、2-乙基-5-甲基吡嗪、2-乙基-6-甲基吡嗪、2,3,5-三甲基吡嗪、2-甲基-5-乙基吡嗪、2-乙基-3,6-二甲基吡嗪、2-乙基-3,5-二甲基吡嗪、2,5-二乙基吡嗪、2,6-二乙基吡嗪、2-异丁基-3-甲基吡嗪、2,3-二乙基-5-甲基吡嗪、2-异丁基-3,6-二甲基吡嗪、2-甲基-6-乙基吡嗪、2,5-二甲基-3-乙基吡嗪、2,5-二甲基-6-异丙基吡嗪、2-异戊基-5-甲基吡嗪、2-异丁基-3-甲基吡嗪、异丁基二甲基吡嗪
呋喃类 Furan	2-丁基呋喃、2-戊基呋喃、2-己基呋喃、呋喃甲醛、5-甲基呋喃醛、2-甲基二氢-3(2H)-呋喃、2-乙酰基呋喃、呋喃甲醇
噻唑类 Thiazole	2-丙基噻唑、2,4,5-三甲基噻唑、4-丁基噻唑、2-异丙基-4,5-二甲基噻唑、苯并噻唑、4,5-二甲基-2-己基噻唑
其他含硫化合物 Other sulfur compound	甲基硫醇、乙硫醇、1-丙硫醇、硫化氢、二甲基二硫醚、二甲基四硫化物、甲基丙基二硫化物、甲硫基乙醛、2,3-二硫杂己烷、甲硫基丙醛、丙基含硫乙酸盐、二甲基二硫化物、甲基丙基三硫化物

Deck 和 Chang^[20]首次报道了薯片当中含有 2,5-二甲基吡嗪，该物质在油当中的嗅觉阈值为 2 mg/kg，在水当中的阈值为 1 mg/kg，当在油中的浓度为 10 mg/kg 时，6 位感官评价员当中的 5 个人将其风

味描述成泥土味和生马铃薯味。在随后的工作中，Deck 等^[21]从 185 磅薯片中分离挥发性风味物质，鉴定了 53 种物质。他们认为薯片中最重要风味物质是吡嗪类化合物，因为感官评价员认为

这些物质具有强烈的新鲜马铃薯、焙烤马铃薯和马铃薯泥土味。

Koehler等^[22]尝试分析了薯片当中的吡嗪类风味物质, 鉴定出了16种吡嗪类化合物, 另外还有8种吡嗪类化合物有待于进一步确认, 还鉴定了两种吡啶类化合物。同时通过感官评价分析确定了2-乙基-3,6-二甲基吡嗪是薯片挥发性风味物质当中最为重要的一种。

Guadagni等^[23]对薯片油脂里面的蒸汽挥发组分进行了研究, 鉴定出26种物质。对这26种鉴定出来的挥发性风味物质在水中和油中的嗅觉阈值进行了分析, 通过与薯片当中这些物质的含量进行对比, 通过计算得出了每种化合物的相对气味强度值。文章得出的结论为薯片当中最重要的挥发性风味物质是甲硫基丙醛, 其次为2,4-癸二烯醛、2-乙基-3,6-二甲基吡嗪、2,6-二乙基吡嗪、2-辛烯醛和2-苯乙醛等。

Buttery和Ling^[24]也对薯片当中蒸汽挥发性物质进行了分析, 鉴定出了46种物质。他们认为甲基硫醇、3-甲基丁醛、苯乙醛和2,4-癸二烯醛是薯片最重要的风味物质。所有这些风味物质都是脂肪和碳水化合物发生热分解或者重排反应产生的。

2.2 非酶促褐变对薯片风味的影响

众所周知, 马铃薯还原糖含量高会导致油炸出来的薯片颜色较深, 作为商品会不受欢迎, 因此薯片厂家会在包装前将油炸颜色深的薯片挑拣出来。但是, 颜色深的薯片风味物质含量更高, 因为其发生了更多的非酶促褐变反应。

近来, 不同团队研究了非酶促褐变对薯片风味物质形成的作用。Nafisi和Markakis^[25]将切好的马铃薯片浸泡在各种不同组分及浓度的糖和氨基酸溶液中, 然后在210℃油温中油炸7 min。将油炸好的薯片磨成粉对其颜色进行测定, 结果显示, 添加L-天冬氨酸或者L-谷氨酸可以降低赖氨酸-葡萄糖和赖氨酸-果糖热反应过程中发生的褐变。Quast和Karel^[26]将9 mm厚的滤纸浸泡到各种氨基酸和糖的溶液中, 模拟薯片进行油炸, 103℃油炸不同时间。发现果糖比葡萄糖更容易发生反应, 甘氨酸是反应最快的氨基酸。当反应体系中添加各种不同的氨基酸时会产生协同作用。这种

反应体系很难模拟薯片油炸时真实的复杂反应, 但可以推测油炸薯片过程中可能发生的反应类型。

在Maga^[27]报道的试验中, 感官评价员蒙起眼睛来评价室温条件下贮藏了4周的薯片, 比较颜色浅和颜色深薯片的味觉和嗅觉特性。结果显示, 对于所有不同贮藏时间的薯片, 被蒙上眼睛的感官评价员都更加偏向于喜欢颜色深的薯片, 而不是颜色浅的薯片。评价员认为颜色深的薯片风味更加浓郁, 更符合薯片的风味。因此, 深颜色薯片的风味更为浓厚, 完全可以将生产线上筛选的颜色较深薯片收集起来单独包装销售。

2.3 油炸温度、时间和光照对薯片风味的影响

Maga和Sizer^[28]研究了油炸时间和温度对薯片吡嗪类风味物质生成的影响, 试验包含30名评价员对150℃分别油炸3, 5, 6和7 min的薯片进行的感官评价。另一组试验分别分析在120, 135, 150, 160和180℃油炸5 min的薯片。通过对油炸薯片的吡嗪类化合物组成及含量的分析表明, 总吡嗪的含量从油炸3 min的1.1 mg/kg上升到油炸7 min以后的15 mg/kg, 当油炸温度从120℃上升到180℃, 总吡嗪的含量从0.64 mg/kg上升到24 mg/kg。结果还表明, 吡嗪类风味物质的含量与感官评价结果存在一定的相关性。

一些科研人员研究了光和温度对薯片风味物质稳定性的影响^[29,30]。Chan等^[30]报道了先光照然后暗处贮藏薯片的风味及风味物质的含量, 并与一直光照条件下薯片的风味进行了对比。研究表明, 当对不间断光照处理的薯片进行检测时, 薯片主要风味物质的含量和过氧化值都随着照射时间的延长而增加。当薯片通过先光照然后暗处贮藏一定时间的方式处理时, 其风味物质的含量有一定增加, 而没有伴随过氧化值的增加。这些研究结果具有一定的现实意义, 因为薯片的生产及销售过程, 产品有时处于光照条件下, 有时避光贮藏, 因此大部分薯片商品应保存在避光的袋子里进行销售, 以避免光照产生过氧化物对其风味的影响。

2.4 油炸薯片用油对薯片风味的影响

由于薯片当中的脂肪含量高, 且在光照条件下容易发硬, 油脂也容易发生氧化反应, 因此有

研究人员分析了不同的油炸薯片用油对薯片风味的影响。Evans等^[31]的研究中发现,相对于用70/30体积比的棉花籽油和玉米油加工出来的薯片,感官评价员更倾向于喜欢用葵花籽油加工出来的薯片。Robertson等^[32]比较了葵花籽油与棉花籽油/玉米油混合后油炸出来的薯片,研究发现不同方式加工出来的薯片没有显著性的风味差异。随后,Robertson等^[33]找来感官评价员对葵花籽油、棉籽油或者棕榈油油炸出来的薯片于31℃贮藏10周以后进行了感官评价。研究发现,感官评价员不能区分不同油加工出来薯片的风味差异,和预期的一样,风味物质的含量随贮藏时间延长而降低。同样,不同油的游离脂肪酸组成也没有发现显著差异,随着受热时间增加,游离脂肪酸的含量会增加。总之,研究者认为这3种油用于油炸薯片可以互相替换,不会引起风味变化。

Przybylski和Hougen^[34]比较了用菜籽油和棉籽油加工的新鲜薯片总挥发性羰基化合物,还分析薯片避光贮藏和见光贮藏对风味的影响。油炸以前,两种油都不含有二烯烃和羰基化合物;但是,新鲜油炸和贮藏一段时间以后的薯片不管是用菜籽油还是棉籽油加工,都能检测到高含量的羰基化合物。研究表明,菜籽油更容易氧化生成羰基化合物,因为其亚麻酸含量高,达到了8.7%,而棉籽油的亚麻酸含量只有0.4%。

2.5 油脂酸败与薯片贮藏

油脂酸败是薯片贮藏的一个问题,有几个团队报道了薯片当中的油脂酸败产物及对薯片货架寿命的影响,得出的结论是油脂酸败产生的烷烃类化合物可以作为判断薯片油脂发生酸败的关键物质^[31,35-37]。Warner等^[38]分析了用玉米油加工薯片戊烷的生成,贮藏过程中戊烷的含量与感官评价时的油脂酸败味呈相关性。当戊烷的含量达到0.08 mg/kg,所有18个受过专业训练的感官评价员都感觉到了薯片的腐臭味。Jeon和Bassette^[39]采用顶空分析技术分析了薯片中的戊醛和己醛的浓度,样品分别用日光灯于100英尺距离照射,对照样品于25℃贮藏在黑暗中。新鲜加工的薯片当中己醛的浓度比较高(267 mg/kg),但是随后会降低然后再上升。戊醛的浓度是空白对照的3~5倍。

Mookherjee等^[40]比较了新鲜和变味的薯片当中单羰基化合物的含量,在新鲜薯片中发现含有18种单羰基化合物,在变味的薯片当中除了这18种,还含有2-己烯醛。在薯片贮藏过程中,己醛、戊醛、2-戊酮、2-丙酮、2-庚醛和2-辛烯醛含量增加,而2,4-癸二烯醛的含量降低。

3 结 语

由于炸薯条和薯片是通过加热油炸的方式烹饪加工,因此其风味物质不仅是由马铃薯产生,还包含所吸附脂肪中的风味物质,以及马铃薯与油炸用脂肪发生反应后生成的风味物质。炸薯条中的主要风味物质包括吡嗪类化合物、2,4-癸二烯醛、2-癸烯醛、2-甲基丁醛、3-甲基丁醛、4-羟基-2,5-二甲基呋喃酮、甲基丙醇、甲硫醇等。薯片中的主要风味物质包括甲硫基丙醛、2,4-癸二烯醛、2-乙基-3,6-二甲基吡嗪、2,6-二乙基吡嗪、2-辛烯醛、2-苯乙醛等。其中油炸方式产生的最重要的风味物质是吡嗪类化合物,这类物质具有强烈的新鲜马铃薯、焙烤马铃薯和马铃薯泥土味等令人愉悦的气味。目前,对于薯条和薯片风味品质的评价,主要通过感官评价和检测仪器相结合的方式来确定。油炸的时间和温度对风味物质的生成产生重大影响,随油炸时间的增长、油温的增加,吡嗪类风味物质的含量明显增加,从而影响其口感和风味。研究表明,不同油炸用油对薯片的风味没有显著影响,各种炸薯条和薯片用油可以互相替换。同时,光照和贮藏时间的增加,也会对炸薯条和薯片的风味产生一定影响,风味物质的含量随贮藏时间的延长而降低。烷烃类化合物的含量为薯片油脂发生酸败的关键指标,同时与感官评价时的油脂酸败味呈相关性。综上所述,决定炸薯条和薯片风味的因素很多,这些因素与其中风味物质的含量息息相关,对于薯条和薯片相关企业在产品生产、加工、贮藏、销售等各个环节的应用具有良好的参考和指导意义。

[参 考 文 献]

- [1] 曾凡逵, 许丹, 刘刚. 马铃薯营养综述[J]. 中国马铃薯, 2015, 29

- (4): 233–243.
- [2] 刘刚, 赵鑫, 周添红. 我国马铃薯加工产业结构分析与发展思考[J]. 农业工程技术: 农产品加工业, 2010(8): 4–11.
- [3] 龚兴旺, 郭华春. 马铃薯风味的研究进展[J]. 食品科学, 2016, 37(9): 264–268.
- [4] Morris W L, Shepherd T, Verrall S R. Relationships between volatile and non-volatile metabolites and attributes of processed potato flavour[J]. Phytochemistry, 2010, 71(15): 1765–1773.
- [5] Solms J, Wyler R. Taste components of potatoes[J]. Food Taste Chemistry, 1979, 115: 175–184.
- [6] Raigond P, Singh B, Gupta V K. Potato flavour: profiling of umami 5-nucleotides from Indian potato cultivars[J]. Indian Journal of Plant Physiology, 2014, 19(4): 338–344.
- [7] Jansky S H. Potato flavor[J]. American Journal of Potato Research, 2010, 87: 209–217.
- [8] Xu D, Liu H, Jin C, *et al.* A new potato variety grown in China suitable for raw eating[J]. European Food Research and Technology, 2018, 244(5): 851–860.
- [9] Zeng F, Liu H, Yu H, *et al.* Effect of potato flour on the rheological properties of dough and the volatile aroma components of bread[J]. American Journal of Potato Research, 2019, 96(1): 69–78.
- [10] Xu D, Zhou X, Lei C, *et al.* Development of biscuits and cookies using raw dehydrated potato flour and its nutritional quality and volatile aroma compounds evaluation[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2020, 44(7): 1–6.
- [11] Zhao Y, Zhou X, Lei C, *et al.* The effect of raw dehydrated potato flour on the rheological properties of dough and nutritional quality of chiffon cakes[J]. International Journal of Food Engineering, 2021, 17(8): 619–632.
- [12] Zhao Y, Wang X, Liao W, *et al.* Study on nutritional quality and volatile aroma compounds of the stir-fried shredded potatoes[J]. American Journal of Potato Research, 2022, 99(3): 191–205.
- [13] Van L, Linssen W, Legger J, *et al.* Identification and olfactometry of French fries flavour extracted at mouth conditions[J]. Food Chemistry, 2005, 90(3): 417–425.
- [14] Carlin J T, Jin Q Z, Huang T C, *et al.* Identification of alkyloxazoles in the volatile compounds from French-fried potatoes[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1986, 34(4): 621–623.
- [15] Wagner R K, Grosch W. Key odorants of French fries[J]. Journal of the American Oil Chemists' Society, 1998, 75(10): 1385–1392.
- [16] Kim H J, Lindsay R C. Volatile fatty acids in flavors of potatoes deep-fried in a beef blend[J]. Journal of the American Oil Chemists' Society, 1991, 68(5): 294–298.
- [17] Martin F L, Ames J M. Formation of Strecker aldehydes and pyrazines in a fried potato model system[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2001, 49(8): 3885–3892.
- [18] 刘爽, 潘洪冬, 赵思明. 酥脆薯条的加工工艺与风味特征研究[J]. 食品工业科技, 2017, 38(14): 196–202.
- [19] Buttery R G, Seifert R M, Guadagni D G, *et al.* Characterization of volatile pyrazine and pyridine components of potato chips[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1971, 19(5): 969–971.
- [20] Deck R E, Chang S S. Identification of 2,5-dimethyl-pyrazine in the volatile flavour compounds of potato chips[J]. Chemistry and Industry, 1965, 30: 1343–1344.
- [21] Deck R E, Pokorny J, Chang S S. Isolation and identification of volatile compounds from potato chips[J]. Journal of Food Science, 1973, 38(2): 345–349.
- [22] Koehler P E, Mason M E, Odell G V. Odor threshold levels of pyrazine compounds and assessment of their role in the flavor of roasted foods[J]. Journal of Food Science, 1971, 36(5): 816–818.
- [23] Guadagni D G, Buttery R G, Turnbaugh J G. Odour thresholds and similarity ratings of some potato chip components[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 1972, 23(12): 1435–1444.
- [24] Buttery R G, Ling L C. Alkylthiazoles in potato products[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1974, 22(5): 912–914.
- [25] Nafisi K, Markakis P. Inhibition of sugar-amine browning by aspartic and glutamic acids[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1983, 31(5): 1115–1117.
- [26] Quast D G, Karel M. Effects of environmental factors on the oxidation of potato chips[J]. Journal of Food Science, 1972, 37(4): 584–588.
- [27] Maga J A. Influence of freshness and color on potato chip sensory preferences[J]. Journal of Food Science, 1973, 38(7): 1251–1252.
- [28] Maga J A, Sizer C E. Ascorbic acid and thiamin retention during extrusion of potato flakes[J]. Lwt Lebensmittel Wissensch Technol, 1978, 11(4): 192–194.
- [29] Fuller G, Guadagni D G, Weaver M L. Evaluation of oleic safflower oil in frying of potato chips[J]. Journal of Food Science, 1971, 36(1): 43–44.

- [30] Chan W S, Levet G, Griffiths N M. Exposure of potato crisps to light and its effect on subsequent storage in the dark [J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 1978, 29(12): 1055–1060.
- [31] Evans C D, List G R, Hoffmann R L. Edible oil quality as measured by thermal release of pentane [J]. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 1969, 46(9): 501–504.
- [32] Robertson J A, Morrison W H, Burdick D. Flavor and chemical evaluation of partially hydrogenated sunflower oil as a potato chip frying oil [J]. *American Journal of Potato Research*, 1972, 49(11): 444–450.
- [33] Robertson J A, Morrison W H, Yon B G. Flavor and chemical evaluation of potato chips fried in sunflower, cottonseed and palm oils [J]. *Journal of Food Science*, 1978, 43(2): 420–423.
- [34] Przybylski R, Hougén F W. Simple method for estimation of volatile carbonyl compounds in edible oils and fried potato chips [J]. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 1989, 66(10): 1465–1468.
- [35] Horvat R J, Lane W G, Ng H. Saturated hydrocarbons from autoxidizing methyl linoleate [J]. *Nature*, 1964, 203(494): 523–524.
- [36] Evans C D, List G R, Dolev A. Pentane from thermal decomposition of lipoxidase-derived products [J]. *Lipids*, 1967, 2(5): 432–434.
- [37] Selke E, Moser H A, Rohwedder W K. Tandem gas chromatography–mass spectrometry analysis of volatiles from soybean oil [J]. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 1970, 47(10): 393–397.
- [38] Warner K, Evans C D, List G R. Pentane formation and rancidity in vegetable oils and in potato chips [J]. *Journal of Food Science*, 1974, 39(4): 761–765.
- [39] Jeon I J, Bassette R. Analysis of n–pentanal and n–hexanal as indices of potato chip shelf-life [J]. *Journal of Food Quality*, 1984, 48(3): 121–124.
- [40] Mookherjee B D, Deck R C, Chang S S. Food flavor changes relationship between monocarbonyl compounds and flavor of potato chips [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1965, 13(2): 131–134.