

气流分级技术在食品加工中的应用

Application of air classification technology in food processing

徐小青 郭祯祥 郭嘉

XU Xiao-qing GUO Zhen-xiang GUO Jia

(河南工业大学粮油食品学院, 河南 郑州 450001)

(School of Food Science and Technology Henan University of Technology, Zhengzhou, Henan 450001, China)

摘要: 文章在查阅国内外文献的基础上, 重点综述了气流分级技术在食品加工中所取得的最新进展及存在的问题, 并对未来气流分级技术在食品中的应用进行展望。

关键词: 气流分级; 食品加工; 应用

Abstract: On the basis of reviewing domestic and foreign literatures, this paper focuses on the latest progress and existing problems of air classification technology in food processing, and prospects for the application of future air classification technology in food, which provides research basis for better application of air classification technology to food processing (especially grain processing).

Keywords: air classification; food processing; application

气流分级技术是一种利用颗粒在空气中的沉降速度差别进行的颗粒分级操作。食品粉状原料的粒度大小和均匀性对其加工特性有很大的影响, 随着食品工程技术的发展以及消费者对食品多样性需求的提高, 食品加工行业对不同粒度粉体的需求日益增大。通过气流分级机将粉体分为不同粒度的组分^[1], 使粉体的粒度分布范围由宽变窄, 增加或减少组分中的蛋白质或其他营养成分的含量^[2], 满足不同类型食品对原料加工特性和营养成分的需求, 提高加工稳定性, 特别是在小麦专用粉生产中具有重大意义。相较于传统湿法分级而言, 气流分级分离条件更温和, 可以减少分级后蛋白质变性, 保留生物活性物质, 减少污水排放, 降低能耗, 绿色环保。近些年, 气流分级在化工、矿物、材料、制药等行业的应用较为广泛, 而在食品行业中的应用尚未成熟, 物料粒度控制技术、食品专用气流分级设备的开发等问题都有待解决, 这也为气流分级技术及设备的开发与应用提供了契

机^[3]。本文拟对气流分级在食品加工行业的应用进行整理和概述, 为后期改善食品加工品质提供新的思路。

1 气流分级技术

1.1 气流分级原理

气流分级利用不同粒度颗粒在气体介质(通常采用空气)中所受气体曳力、自身重力、惯性力、离心力的综合作用不同, 使夹带粉粒的气流通过降低流速、改变流向等方法, 将粗粒沉降细粒带走, 从而分离粗细粉粒^[4]。

1.2 气流分级设备的分类

物料的分级按所用介质可分为干法分级与湿法分级^[5]。气流分级属于干法分级, 其特点是用空气作流体, 操作简便, 成本较低。1885 年英国人发明了第一台动态空气分级机, 从此之后分级技术才有了较大的发展^[6], 总体可分为 3 个阶段: 第一阶段为以离心分级原理设计的离心式分级机^[7]; 第二阶段为旋风式分级机^[8], 这类分级机较前一阶段的分级机而言分级性能得到了提高; 第三阶段为涡流式分级机^[9], 具有分级效率高、节能等特点。

按气流分级设备是否具有运动部件可将气流分级机划分为两大类: 静态分级机和动态分级机。

(1) 静态分级机: 分级机中无运动部件, 主要是重力分级机、惯性分级机、旋风分离器、螺旋线式气流分级机和射流分级机等^[10-11], 如 SUV 双叶轮空气分级机、O-Sepa 型涡流分级机等^[12], 这类分级机构造简单, 不需动力, 运行成本低, 操作及维护较方便, 但分级精度不高, 不适于精密分级。

(2) 动态分级机: 分级机中具有运动部件, 主要指各种涡轮式分级机, 如 Turboplex ATP 涡轮分级机、MS 型涡轮分级机等, 这类分级机构造复杂, 需要动力, 能耗较高, 但分级精度较高, 切割粒径调节方便, 只要调节叶轮旋转速度就能改变分级机的切割粒径, 适于精密分级。

2 气流分级技术在食品加工中的应用

2.1 在豆类中的应用

气流分级后的豌豆蛋白分离物具有显著提高食品持水

基金项目: 国家重点研发计划资助(编号: 2018YFD0401000)

作者简介: 徐小青, 女, 河南工业大学在读硕士研究生。

通信作者: 郭祯祥(1958—), 男, 河南工业大学教授, 硕士生导师。

E-mail: guozhenxiang58@163.com

郭嘉(1984—), 女, 河南工业大学讲师, 博士。

E-mail: 819015189@qq.com

收稿日期: 2018-08-08

性的作用,对制备高蛋白质食物或蛋白功能替代物提供了有效途径,Pelgrom 等^[13]用冲击式研磨机以 4 000 r/min 的转速研磨豌豆粉,之后用空气分级提取黄豌豆中的蛋白质,当气流分级提取的蛋白质含量达到 30 % 时,加热后的蛋白质浓缩液体可以形成具有高持水性的凝胶。

羽扇豆蛋白含量高达 35 % ~ 40 %^[14-15]。油脂含量为 8 % ~ 12 %,主要为 α -亚麻酸^[16]。周中凯等^[17]对羽扇豆粉进行脱脂、研磨和气流分级处理,结果发现气流分级法仅仅改变分级产物中蛋白含量,细粉中的蛋白含量增高,粗粉中的蛋白含量降低,但对其抗氧化性和热稳定性影响不明显。

蚕豆种子除了含有丰富的蛋白质、维生素、矿物质和膳食纤维,还具有生物活性化合物,如抗氧化剂、酚类和 γ -氨基丁酸^[18]。空气分级和发酵结合可以改善蚕豆粉的营养功能,Coda 等^[19]发现气流分级可以将蚕豆粉中的蛋白质和淀粉分离,这与 Gunawardena 等^[20]的研究结果一致,试验发现经过分级后 2 种蚕豆粉产物中的植物乳杆菌比未经分级的生长的更好,并且有利于减少抗营养因子,提高游离氨基酸含量和蚕豆基质的蛋白质消化率。

豆类食品具有蛋白质丰富的特点,食品生产中可以利用豆类蛋白质代替动物蛋白,气流分级技术代替传统的湿法提取,分离条件更温和,且耗能更少,避免了加热干燥引起的蛋白质变性,保留了分级产物的生物活性物质,可以作为提取豆类蛋白的良好选择。

2.2 在小麦加工中的应用

不同部位的小麦粉营养物质含量不同,会使小麦粉表现出不同的加工特性和消化规律^[21]。通过气流分级可以获得高蛋白质或高营养面粉,并且不会影响面粉厂的正常生产还可降低成本,Wang 等^[22]研究发现气流分级后的小麦蛋白质、脂肪、矿物质和破损淀粉含量高于同一批次的标准粉,并且小麦粉中蛋白质的富集机制比破损淀粉更为复杂。

有色小麦近几年成为国内外研究的热点,这些小麦中的色素、蛋白质等含量均高于普通小麦,且含有多种生物活性成分^[23]。气流分级后的有色全麦粉可以有效增加花青素的含量,在一定程度上提高食品的营养特性以及感官特性,Ficco 等^[24]发现气流分级后的蓝皮软质小麦粗级分和紫皮硬质小麦中级的花青素及其衍生物含量、黄色素含量和抗氧化能力增幅最大,面包的估计血糖指数显著降低且口感也有所改善。

气流分级后小麦粉的不同组分表现出不同的理化性质和流变学特性,富集小麦粉中的营养物质,为获得小麦专用粉、面粉添加剂、面粉改良剂以及有色小麦所制的功能性面粉提供了途径。

2.3 在大麦加工中的应用

大麦谷粒的膳食纤维含量,尤其是 β -葡聚糖的含量较高,可用于生产具有健康功能的食物^[25]。Ferrari 等^[26]试验发现空气分级可以适应不同的无壳品种大麦,通过建立 β -葡聚糖富集与产量的曲线,选择大麦粉产量和 β -葡聚糖含量的

最优组合,获得大麦粉的 β -葡聚糖含量是原来的 2 倍。这与 Gómez-Caravaca 等^[27]的研究结果一致,并且发现气流分级可以富集大麦中的酚类成分,从而改善大麦的抗氧化活性,避免副产品产生。

大麦蛋白质含量通常为 8 % ~ 15 %^[28],主要分为水溶性白蛋白、水溶性球蛋白、醇溶性大麦醇溶蛋白和碱溶性谷蛋白^[29]。Silventoinen 等^[30]利用气流分级富集大麦胚乳蛋白质,结果发现大麦胚乳的空气分级得到的蛋白质含量最高为 28.3 %。蛋白质含量与分级轮转速有关,工业大麦胚乳组分可以作为各种食品或饲料的植物蛋白质成分。

气流分级主要用于富集大麦粉中 β -葡聚糖或淀粉,而蛋白质的分离一直处于次要地位,气流分级可以富集大麦中 β -葡聚糖、烷基间苯二酚等活性物质,并保留生物活性,蛋白质可以用做饲料和食品的植物蛋白添加剂,气流分级技术是一种可持续技术,可以同时实现生物活性化合物的提取和食品废弃物的再利用。

2.4 在其他食品加工中的应用

燕麦麸的主要成分是 β -葡聚糖,燕麦中的酚类和其他抗氧化物质对人体有益。开发浓缩燕麦抗氧化成分的方法将极大地促进保健品或功能性食品的生产。Stevenson 等^[31]的研究结果显示同时利用超临界二氧化碳萃取和空气分级获得的燕麦粗组分富集了酚类化合物且提高抗氧化能力。Gamel 等^[32]也发现空气分级后的苜蓿粉酚含量和抗氧化能力都有所增加。

油菜籽粕(RSM)是一种高度可用的饲料原料,Hansen 等^[33]研究发现就从油菜籽粕中去除纤维的含量而言,利用研磨结合筛分的方法比利用研磨结合气流分级的方法效果更好,并且后者耗能更高。盐角草粕可以替代罗非鱼饲料中高达 40 % 的鱼粉而不影响其生长。Wu 等^[34]利用气流分级富集盐角草的蛋白质,且富集程度和细组分的产率取决于研磨强度。气流分级可以通过富集原料中的蛋白质以提高饲料中的蛋白质含量,一定程度上解决了饲料蛋白质含量不足的问题。

谷物燃料现在已经成为新的替代能源,生成乙醇燃料的过程中会产生副产物干酒糟。Srinivasan 等^[35]使用筛分和气流分级的方法从玉米酒糟中分离纤维,发现可以有效地分离出可利用的纤维。这主要是因为每个筛分部分纤维与非纤维的球形度不同导致两者终端速度不同,从而使纤维从玉米酒糟中分离。

3 气流分级技术应用意义

3.1 改善谷物加工特性,改善食品口感

经过粉碎的物料再进行气流分级所得的细组分具有很多优良特性,这些特性可以改变谷物粉体的加工特性。谷物粉体中的高纤维会增加其所制食品的吞咽难度,降低食品的适口性,气流分级使细组分中的纤维含量降低,颗粒粒度范围由宽变窄,粒度更加均匀,增加了该组分所制食品的平滑度,提高食品的适口性。

3.2 富集粉体中的蛋白质,降低纤维含量

气流分级可以使谷物粉中的蛋白质富集,尤其是小麦粉中的蛋白质,它们提供了人体所需的蛋白质,其含有的麦醇溶蛋白和麦谷蛋白构成面筋蛋白的数量与质量对面制品的加工性能、质构特性、产品质量都起着决定性的作用。不同的面制品需要不同的蛋白质含量,因此,气流分级刚好可以将面粉中的蛋白质富集,以满足不同面制品对蛋白质含量的特殊要求。选择合适的分级参数,改变面粉中蛋白质含量,这是生产小麦专用粉的有效途径之一,一般的小麦面粉进行蛋白分离后得到的产品如:面筋粉、小麦淀粉、高筋粉、低筋粉都能用作配制专用粉的基础原料。

豆类的蛋白质含量很高,市面上的补充蛋白质或者作为功能添加剂的蛋白粉、肽粉等大多以大豆蛋白为原料,这些产品的主要特点就是蛋白质含量较高,而豆类中纤维素含量也比较高,通过气流分级可以富集豆类中的蛋白质,剔除残留的纤维,为提取豆类粉制品中的蛋白质提供了一种途径。

3.3 保留分级产物的活性物质

气流分级无溶剂的提取方法,避免了溶剂的浪费,干法分离条件更温和,且耗能更少,避免了加热干燥引起的蛋白质变性,保留了分级产物的生物活性物质,如具有抗氧化活性的酚类物质等,减少了食品工厂工业废水的排放,提高了副产物利用率,极大程度上增加原料或成品的附加值。

4 展望

目前,气流分级技术在食品加工中的应用并不是很多,物料粒度控制技术、食品专用气流分级设备的开发等问题都还有待解决。但气流分级技术在食品加工中前景广阔,例如可以分离发芽、虫害的谷物原料,富集面粉中的蛋白质得到筋力更强的面粉,增加气流分级的组分并配制更多种类的专用粉,超微分级出细组分的麦麸进而提高全谷物食品的口感,代替湿法提取保留生物活性物质等。随着气流分级技术的逐步发展和精细化,将为食品加工提供更为广阔的空间。

参考文献

[1] 倪炳元. 小麦粉气流分级技术的试验及探讨[J]. 中国粮油学报, 1997(5): 10-17.

[2] 朱风德, 宋贤良, 周乃如. 面粉气流分级技术的研究[J]. 粮食与饲料工业, 1997(6): 3-7.

[3] 李秋萍, 邵国兴. 气流分级技术的进展[J]. 化工装备技术, 2002, 23(5): 10-15.

[4] 冯平仓. 气流分级原理及分级设备的最新发展[J]. 非金属矿, 1997(6): 36-39.

[5] 鲁林平, 叶京生, 李占勇, 等. 超细粉体分级技术研究进展[J]. 化工装备技术, 2005, 26(3): 19-26.

[6] 高强. 压差式气流分级机在非金属矿中的应用[J]. 陶瓷, 2016 (12): 43-45.

[7] 孙占朋, 韩晓鹏, 孙国刚, 等. 离心式气流分级机的现状与进展[J]. 中国粉体技术, 2017(2): 39-43.

[8] 陶京平, 王立新. 旋风式分级机的技术进展综述[J]. 硫磷设计与

粉体工程, 2009(1): 8-12.

[9] 张宇, 刘家祥, 杨儒. 涡流空气分级机的回顾与展望[J]. 中国粉体技术, 2003, 9(5): 37-42.

[10] 和志超, 廖晓冬. 静态分级机的效率在辊压机综合粉磨系统中的重要作用[J]. 建材发展导向, 2014, 12(4): 9-10.

[11] 董立珂, 许瑞超. 采用不同分级设备的挤压联合粉磨工艺[J]. 建材技术与应用, 2013(4): 23-26.

[12] 吴建明. 当前技术水平的干式分级设备[J]. 有色金属: 选矿部分, 2010(5): 25-29.

[13] PELGROM P J M, VISSERS A M, BOOM R M, et al. Dry fractionation for production of functional pea protein concentrates[J]. Food Research International, 2013, 53(1): 232-239.

[14] SUJAK A, KOTLARZ A, STROBEL W. Compositional and nutritional evaluation of several lupin seeds [J]. Food Chemistry, 2005, 98(4): 711-719.

[15] BÄHR M, FECHNER A, HASENKOPF K, et al. Chemical composition of dehulled seeds of selected lupin cultivars in comparison to pea and soya bean[J]. LWT-Food Science and Technology, 2014, 59(1): 587-590.

[16] BOSCHIN G, DAGOSTINA A, ANNICCHIARICO P, et al. Effect of genotype and environment on fatty acid composition of *Lupinus albus* L. seed[J]. Food Chemistry, 2008, 108(2): 600-606.

[17] 周中凯, 郭晓娟, 闫婵. 不同羽扇豆粉气流分级物的物化性质差异性研究[J]. 食品科技, 2017, 42(2): 83-89.

[18] JEZIERNY D, MOSENTHIN R, BAUER E. The use of grain legumes as a protein source in pig nutrition: A review[J]. Animal Feed Science & Technology, 2010, 157(3): 111-128.

[19] CODA R, MELAMA L, RIZZELLO C G, et al. Effect of air classification and fermentation by *Lactobacillus plantarum*, VTT E-133328 on faba bean (*Vicia faba*, L.) flour nutritional properties[J]. International Journal of Food Microbiology, 2015, 193: 34-42.

[20] GUNAWARDENA C K, ZIJLSTRA R T, BELTRANENA E. Characterization of the nutritional value of air-classified protein and starch fractions of field pea and zero-tannin faba bean in grower pigs[J]. Journal of Animal Science, 2010, 88(2): 660-670.

[21] 刘冬, 万红霞, 赵旭, 等. 小麦不同部位在体外模拟消化过程中抗氧化活性的变化规律[J]. 现代食品科技, 2016(4): 94-99.

[22] WANG Jin-shui, XIE An-guo, ZHANG Chang-fu. Feature of air classification product in wheat milling: Physicochemical, rheological properties of filter flour[J]. Journal of Cereal Science, 2013, 57(3): 537-542

[23] 牛磊, 吕银德, 朱永义. 黑小麦的营养特性及其在食品中的应用[J]. 粮食与饲料工业, 2006(12): 11-12

[24] FICCO D B M, BORRELLI G M, GIOVANNIELLO V, et al. Production of anthocyanin-enriched flours of durum and soft pigmented wheats by air-classification, as a potential ingredient for functional bread[J]. Journal of Cereal Science, 2018, 79:

118-126.

[25] PEJ CZ E, CZA JA A, WOJCIECHOWICZ-BUDZISZ A, et al. The potential of naked barley sourdough to improve the quality and dietary fibre content of barley enriched wheat bread[J]. Journal of Cereal Science, 2017, 77: 97-101.

[26] FERRARI B, FINOCCHIARO F, STANCA A M, et al. Optimization of air classification for the production of β -glucan-enriched barley flours[J]. Journal of Cereal Science, 2009, 50 (2): 152-158.

[27] GÓMEZ-CARAVACA A M, VERARDO V, CANDIGLIOTA T, et al. Use of air classification technology as green process to produce functional barley flours naturally enriched of alkylresorcinols, β -glucans and phenolic compounds[J]. Food Research International, 2015, 73: 88-96.

[28] HOLTEKJOLEN A K, UHLEN A K, BRATHEN E, et al. Contents of starch and non-starch polysaccharides in barley varieties of different origin[J]. Food Chemistry, 2006, 94 (3): 348-358.

[29] JADHAV S J, LUTZ S E, GHORPADE V M, et al. Barley: Chemistry and Value-Added Processing[J]. Critical Reviews in Food Science & Nutrition, 1998, 38(2): 123-171.

[30] SILVENTOINEN P, SIPPONEN M H, HOLOPAINEN-MANTILA U, et al. Use of air classification technology to produce protein-enriched barley ingredients[J]. Journal of Food Engineering, 2018, 222: 169-177.

[31] STEVENSON D G, INGLETT G E, CHEN D, et al. Phenolic content and antioxidant capacity of supercritical carbon dioxide-treated and air-classified oat bran concentrate microwave-irradiated in water or ethanol at varying temperatures[J]. Food Chemistry, 2008, 108(1): 23-30.

[32] GAMEL T H, LINSSEN J P, MESALLAM A S, et al. Seed treatments affect functional and antinutritional properties of amaranth flours[J]. Journal of the Science of Food & Agriculture, 2006, 86(7): 1 095-1 102.

[33] HANSEN J Ø, SKREDE A, MYDLAND L T, et al. Fractionation of rapeseed meal by milling, sieving and air classification: Effect on crude protein, amino acids and fiber content and digestibility[J]. Animal Feed Science & Technology, 2017, 230: 143-153

[34] WU Y V, ABBOTT T P. Protein enrichment of defatted sorghum meal by air classification[J]. Journal of the American Oil Chemists Society, 2003, 80(2): 167-169.

[35] SRINIVASAN R, SINGH V. Physical properties that govern fiber separation from distillers dried grains with solubles (DDGS) using sieving and air classification[J]. Separation & Purification Technology, 2008, 61(3): 461-468.

(上接第 207 页)

[10] KAMINOGAWA S. Intestinal immune system and prebiotics[J]. Bioscience and Microflora, 2002, 21(1): 63-68.

[11] SHIMIZU T. Health claims on functional foods: Japanese regulations and an international composition[J]. Nutrition Research Reviews, 2003, 16(2): 241-252.

[12] PATEL D, DUFOUR Y, DOMIGAN N. Functional food and nutraceutical registration processes in Japan and China: a diffusion of innovation perspective[J]. Journal of Pharmacy & Pharmaceutical Sciences, 2008, 11(4): 1-11.

[13] TOKUNAGA T. A present situation of foods for specified health use (FOSHU) in Japan[J]. Nihon Yakurigaku Zasshi: Folia Pharmacologica Japonica, 1997, 110: 17P-22P.

[14] SANDERS M E. Overview of functional foods: emphasis on probiotic bacteria[J]. International Dairy Journal, 1998, 8(5/6): 341-347.

[15] YAMADA K, SATO-MITO N, NAGATA J, et al. Health claim evidence requirements in Japan[J]. The Journal of Nutrition, 2008, 138(6): 1 192S-1 198S.

[16] MAKOTO Shimizu. Functional food in Japan: current status and future of gut-modulating food[J]. Journal of Food & Drug Analysis, 2012(20): 213.

[17] REILLY C. Functional foods-a challenge for consumers[J]. Trends in Food Science & Technology, 2014, 5(4): 121-123.

(上接第 211 页)

[20] 曹庸, 刘汉桢, 戴伟杰, 等. 一种多功能连续相变萃取装置, 中国, 103349849A[P]. 2013-10-16.

[21] 谭荣威, 曹庸, 利嘉城. 桉叶多酚连续相变提取工艺的优化[J]. 食品与机械, 2015, 31(4): 183-186.

[22] XU Bin, HAN Ji-hua, ZHOU Shi-long, et al. Quality characteristics of wheat germ oil obtained by innovative subcritical butane experimental equipment[J]. Journal of Food Process Engineering, 2016, 39(1): 79-87.

[23] 朱新亮, 祁鲲. 亚临界流体萃取实验室成套设备研究现状及其应用[C]// 首届中国亚临界生物萃取技术发展论坛论文集. 安阳: 中国国际科技促进会, 国家级安阳高新技术产业开发区管委会, 河南省亚临界萃取设备工程技术研究中心, 2016: 81-87.

[24] HENRY Rosenthal. Oil treating process: US, 2152664[P]. 1939-04-04.

[25] 张明. 低温压榨菜籽饼油脂亚临界萃取工艺技术研究[D]. 武汉: 中国农业科学院, 2015: 35.

[26] 周世龙. 大豆胚芽油的亚临界丁烷萃取特性研究[D]. 镇江: 江苏大学, 2014: 4-9.

[27] 祁鲲. 萃取罐阀门自动控制系统及设置有该系统的萃取罐, 中国, 205991218U[P]. 2017-03-01.

[28] 祁鲲. 亚临界萃取液连续蒸发系统, 中国, 205925038U[P]. 2017-02-08.

[29] 祁鲲. 亚临界连续萃取脱溶设备, 中国, 206051975U[P]. 2017-03-29.

[30] 端木凡林. 亚临界流体连续萃取装置, 中国, 203315790U[P]. 2013-06-23.