

夏秀东,王 英,刘小莉,等. 粉碎和干燥方法对蓝莓渣营养成分和生理活性物质的影响[J]. 江苏农业科学,2018,46(4):180-183.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.04.046

粉碎和干燥方法对蓝莓渣营养成分和生理活性物质的影响

夏秀东,王 英,刘小莉,李 莹,单成俊,周剑忠

(江苏省农业科学院农产品加工研究所,江苏南京 210014)

摘要:为了研究粉碎和干燥方法对蓝莓渣营养成分和生理活性物质的影响,使用超微粉碎和普通粉碎方法对蓝莓进行粉碎,然后用低温烘干和冷冻干燥法对蓝莓渣进行干燥,同时对蓝莓汁和蓝莓渣中的营养成分和生理活性物质进行分析。结果表明:与普通粉碎法相比,超微粉碎可显著增加蓝莓汁中的营养成分、生理活性物质(主要指含酚、酮和花色苷)和可溶性膳食纤维含量,同时减少这些物质在蓝莓渣中的残留量;无论采用何种粉碎方法,蓝莓渣中均残留大量的营养成分和生理活性物质,且膳食纤维主要存在于蓝莓渣中;冷冻干燥法处理的蓝莓渣中的营养成分的含量显著高于烘干法处理的蓝莓渣,而生理活性物质和膳食纤维含量则与烘干蓝莓渣无显著差异。综合考虑蓝莓利用效率和加工成本可知,超微粉碎和低温烘干法更加适合蓝莓渣的加工。

关键词:蓝莓;蓝莓渣;粉碎;烘干;营养成分;生理活性物质

中图分类号: TS255.36 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)04-0180-04

蓝莓果肉细腻,风味独特,含有丰富的糖类、氨基酸、蛋白质等营养物质及花色苷、酚类、黄酮等功能性物质,其营养与保健价值远高于其他水果,被誉为“世界浆果之王”^[1]。蓝莓具有促进视红素再合成、抗炎症、改善循环、增强内脏功能、抗衰老、提高免疫力、抗癌等多种生理功能^[2-3]。近年来,世界各国的蓝莓产业发展迅速,蓝莓产品层出不穷,涌现出大量的果汁类产品,同时也产生了大量蓝莓废弃果渣,最多可占鲜果质量的 20%^[4]。有研究指出,有超过 15% 的多酚和 71.8% 的花青素残留于果渣中,而只有 36%~39% 的多酚和 13%~23% 的花青素存在于巴氏杀菌的蓝莓果汁中^[5]。因此,蓝莓果渣的再利用不仅能减少环境污染,而且能大大提高蓝莓中营养和功能成分的利用率。

食品经过粉碎后可加快营养物质的释放,粒径越小,营养物质的释放速度越快。随着粒径的减小,颗粒也更容易吸附在小肠的内壁,使得营养物质更容易被小肠吸收^[6]。粉体的物理化学特性与粒度大小、成粉工艺紧密相关,决定了其被综合利用的程度。物料的粉碎工艺一般有普通粉碎和超微粉碎 2 种^[7],普通粉碎仅能将物料组织破碎,而超微粉碎可将物料粉碎至细胞水平以下。超微粉碎是指将直径在 3 mm 以上的颗粒通过物理(机械、气流、球磨)的方法粉碎到直径为 10~25 μm 的过程。超微粉碎方法有气流粉碎法、机械粉碎法(干法和湿法)2 种,无论是气流粉碎法还是机械粉碎法,其基本原理大致相同,都是物料通过挤压、碰撞、摩擦和剪切的相互作用而达到粉碎的目的。与普通粉碎相比,物料经超微粉碎

可有效改善粉体的粒度和结晶结构,因此超微粉体具有良好的溶解性、分散性、吸附性、化学活性等独特的物理和化学性质,是一种理想食品加工手段^[8-9]。超微粉碎有利于食品中营养成分的释放与吸收,可显著地改善产品的食品品质及加工性能,同时强化了功能性成分的溶出,提高其吸收利用率^[6]。

干燥处理可使食品脱水,能有效抑制食物的呼吸作用以及其他生理作用,减少营养物质的转化和损失,抑制微生物的生长,可大大延长食物的保藏期。同时,食品原料经过干燥后方便运输,大大提高了食品的流动性,为食品原料加工成多样化的食品产品创造了条件。食品等加工行业常用的干燥方式主要有传统的晒干、冻干、烘干、阴干及微波干燥和真空干燥等^[10-11]。真空冷冻干燥技术是一项高新加工技术,该技术的原理是在真空状态下,使预先冻结的物料中的水分不经过冰的融化直接通过气态升华而被除去,使物料干燥而不破坏其中的营养成分^[12-13]。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

兔眼蓝莓,购自溧阳市白露山生态农业发展有限公司;考马斯亮蓝 G250、蕙酮、芸香苷、一水合没食子酸、 α -淀粉酶、蛋白酶、葡萄糖苷酶,购自上海阿拉丁生物科技股份有限公司。

1.2 试验设备及仪器

QDGX-15 型高速切割粉碎机,由江南大学食品装备工程研究中心与无锡轻大食品装备有限公司联合研制;VK-600 型破壁料理机,德国 OROWA;WBL-MP301J 型搅拌机,惠而浦(中国)股份有限公司;Mastersizer 2000 型激光粒度分析仪,英国马尔文仪器有限公司;TDL-40B 型飞鸽型低速大容量离心机,上海安亭科学仪器厂;KH-75AS 型电热恒温干燥箱鼓风机,广州市康恒仪器有限公司;FC-12A 型真空冷冻干燥机,河北国辉实验仪器有限公司。

收稿日期:2016-09-06

基金项目:江苏省六大人才高峰项目(编号:NY007)。

作者简介:夏秀东(1985—),男,山东临沂人,博士,助理研究员,研究方向食品生物技术。E-mail:86084056@163.com。

通信作者:周剑忠,博士,研究员,研究方向为食品生物技术。

E-mail:zjzluck@126.com。

1.3 试验方法

1.3.1 蓝莓的粉碎 称取 10 kg 左右蓝莓于 QDGX - 15 型高速切割粉碎机中进行超微粉碎, 粉碎 2 次; 称取 200 g 蓝莓于 VK - 600 型破壁料理机中高速粉碎 2 min (转速 48 000 r/min); 称取 200 g 蓝莓于 WBL - MP301J 型搅拌机中低速粉碎 2 min (转速 22 000 r/min)。粉碎后将样品于 4 000 r/min 离心 10 min, 分离上清和蓝莓渣, 待测。

1.3.2 干燥 将得到的蓝莓渣分为 2 份, 1 份于 FC - 12A 型真空冷冻干燥机中干燥, 温度为 - 40 ℃, 另 1 份于 40 ℃ KH - 75AS 型电热恒温干燥箱鼓风机中烘干至恒质量。

1.3.3 粒度测定 采用 Mastersizer 2000 激光粒度分析仪测定, 将待测样品置于粒度仪容器内, 使用蒸馏水作为分散剂, 用超声波对粉体进行分散, 测定其粒径。

1.3.4 可溶性蛋白、可溶性总糖和还原糖含量的测定 参照王学奎的方法^[14]采用考马斯亮蓝 - G250 法测定蛋白含量; 用硫酸蒽酮比色法测定总糖含量; 用 3, 5 - 二硝基水杨酸比色法测定还原糖含量。

1.3.5 花色苷含量的测定 参照赵慧芳等的方法^[15], 采用示差法测定总花色苷含量。

1.3.6 总酚含量的测定 参照李静等的方法^[16], 采用福林酚比色法测定总酚含量。

1.3.7 总黄酮含量的测定 参照宋元清等的方法^[17], 采用硝酸铝比色法测定总黄酮含量。

1.3.8 总膳食纤维、可溶性膳食纤维和不可溶性膳食纤维含量的测定 参照汪红等的方法^[18], 采用酶质量法测定总膳食纤维 (total dietary fiber, 简称 TDF)、可溶性膳食纤维 (soluble

dietary fiber, 简称 SDF) 和不可溶性膳食纤维 (insoluble dietary fiber, 简称 IDF) 含量。 D_{10} : 一个样品的累计粒度分布比例达到 10% 时所对应的粒径, μm ; D_{50} : 一个样品的累计粒度分布比例达到 50% 时所对应的粒径, 也叫中位粒径或中值粒径, 常用来表示平均粒度, μm ; D_{90} : 一个样品的累计粒度分布比例达到 90% 时所对应的粒径, μm ; $(D_{90} - D_{10})/D_{50}$: 粒度分布情况, 越大分布越宽, 越小分布越窄; $D_{(3,2)}$: 表面积平均粒径; $D_{(4,3)}$: 体积平均粒径。

1.3.9 数据处理与统计分析 用 Origin 8. 0 (OriginLab 公司研发) 作图, 试验数据运用 SPSS 10 中的 One - Way ANOVA 进行分析, 不同小写字母代表处理间存在显著差异 ($P < 0. 05$)。每个处理重复 3 次。

2 结果与分析

2.1 粉碎方法对粒径和蓝莓渣得率的影响

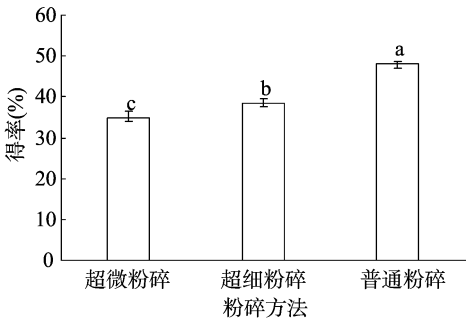
经不同粉碎方式粉碎后的蓝莓渣粒径情况如表 1 所示, 为更加准确地反映不同粉碎方式对蓝莓的粉碎效果, 笔者对 D_{10} 、 D_{50} 、 D_{90} 、 $(D_{90} - D_{10})/D_{50}$ 、 $D_{(3,2)}$ 、 $D_{(4,3)}$ 进行了统计分析。结果表明, 超微粉碎使蓝莓渣的粒径、表面积平均粒径、体积平均粒径均显著小于高速粉碎、低速粉碎的相应值, 而且超微粉碎后的蓝莓渣粒度分布更均匀。与低速粉碎相比, 高速粉碎后的蓝莓渣粒径、表面积平均粒径、体积平均粒径均显著小于低速粉碎的相应值, 然而, 经高速粉碎的蓝莓渣在分布均匀度上与低速粉碎的并没有显著差异, 这说明在传统粉碎中, 随着粉碎机转速的增加, 物料的粒径变小, 但转速的增加并未显著改善物料的均匀度。

表 1 不同粉碎方法对粒径的影响

粉碎方法	D_{10} (μm)	D_{50} (μm)	D_{90} (μm)	$(D_{90} - D_{10})/D_{50}$	$D_{(3,2)}$ (μm)	$D_{(4,3)}$ (μm)
超微粉碎	9. 24 ± 0. 56c	76. 61 ± 1. 86c	149. 39 ± 4. 29c	1. 83 ± 0. 01b	17. 23 ± 0. 81c	80. 14 ± 3. 04c
高速粉碎	37. 03 ± 8. 63b	173. 39 ± 20. 75b	454. 99 ± 54. 50b	2. 41 ± 0. 02a	48. 21 ± 3. 89b	213. 97 ± 26. 54b
低速粉碎	54. 31 ± 4. 53a	250. 27 ± 21. 86a	645. 24 ± 30. 37a	2. 36 ± 0. 01a	54. 17 ± 5. 68a	303. 30 ± 3. 59a

注: 同列数据后标有不同小写字母表示差异显著 ($P < 0. 05$)。下表同。

图 1 表明, 粉碎方法会显著影响蓝莓渣的得率。超微粉碎后, 得到的蓝莓渣为蓝莓总量的 34. 83%; 高速粉碎后得到的蓝莓渣为蓝莓总量的 38. 56%; 低速粉碎后, 蓝莓渣占蓝莓总量的比例则高达 47. 98%。这一结果结合表 1 结果表明, 蓝莓粉碎得越细, 蓝莓渣残留量越少。



不同小写字母表示差异显著 ($P < 0. 05$)
图1 不同粉碎方法对蓝莓渣得率的影响

2.2 粉碎方法对蓝莓汁和蓝莓渣中营养成分、生理活性物质和膳食纤维含量的影响

蓝莓含有丰富的营养成分和生理活性物质 (含酚、酮和花色苷), 不同的粉碎方法可能会影响这些物质的释放。超微粉碎、高速粉碎和低速粉碎对蓝莓中营养物质和生理活性物质释放的影响如表 2 所示, 在蓝莓汁中可溶性蛋白、可溶性总糖、还原糖、总黄酮和总酚含量排序均为超微粉碎 > 高速粉碎 > 低速粉碎, 超微粉碎和高速粉碎蓝莓汁中花色苷含量无显著差异, 但是显著高于低速粉碎蓝莓汁中花色苷含量; 在蓝莓渣中以上营养物质和生理活性物质的含量则与蓝莓汁中的正好相反。结合表 1、表 2 结果表明, 随着粒径的减小, 营养物质和生理活性物质有向蓝莓汁中转移的趋势。此外, 值得注意的是, 无论使用何种粉碎方法, 蓝莓渣中均残留大量的营养物质和生理活性物质, 其中生理活性物质 (黄酮、酚类、花色苷) 在蓝莓渣中的含量均远远高于蓝莓果汁中的相应含量。

膳食纤维 (dietary fiber, 简称 DF) 主要是指不被人体消化吸收、对人体健康有重要意义的多糖类大分子物质^[19]。膳食纤维具有多种有利于健康的理化性质, 如吸水膨胀性、持水性、对有机成分的吸附性、填充作用和阳离子交换等。研究表

表 2 不同粉碎方法对蓝莓汁和蓝莓渣营养和功能成分的影响

类别	粉碎方式	可溶性蛋白含量 (mg/g)	可溶性总糖含量 (mg/g)	还原糖含量 (mg/g)	总黄酮含量 (mg/g)	总酚含量 (mg/g)	花色苷含量 (mg/g)
蓝莓汁	超微粉碎	0.18±0.01a	130.23±6.46a	78.35±5.87a	7.63±0.74d	7.93±0.66c	1.38±0.08d
	高速粉碎	0.16±0.01b	113.06±2.98c	62.19±2.63b	5.80±0.37e	6.70±0.79d	1.35±0.07d
	低速粉碎	0.14±0.01c	98.48±7.39e	53.88±4.17c	4.55±0.23f	5.18±0.95e	1.10±0.03e
蓝莓渣	超微粉碎	0.14±0.01c	82.09±6.08f	49.68±6.58c	10.22±0.32c	7.87±0.27c	3.91±0.15c
	高速粉碎	0.16±0.01b	102.74±5.59d	53.88±4.17c	16.11±1.23b	10.37±0.76b	4.36±0.20b
	低速粉碎	0.19±0.01a	117.00±8.45b	62.41±5.03b	18.86±0.96a	12.10±1.04a	4.65±0.16a

明,膳食纤维具有通便、降低胆固醇含量、降低血糖含量、预防癌症等诸多生理功效^[20-23],被称为“第七大营养素”。表 3 结果显示,随着粒径的减小(即粉碎方式从低速向超微变化),蓝莓汁和蓝莓渣中的 SDF 含量均显著增加,IDF 含量则随着粉碎粒度的减小有减少的趋势。3 种粉碎方法对蓝莓汁、蓝莓渣中的 TDF 含量没有显著影响。同时,表 3 结果表明,无论使用何种粉碎方式,蓝莓渣中的 SDF、IDF 和 TDF 含量均显著高于蓝莓汁中的相应值。

2.3 烘干方法对蓝莓渣中营养成分、生理活性物质和膳食纤维含量的影响

烘干方法对蓝莓渣中的营养物质和生理活性物质的影响如表 4 所示,可以看出 3 种粉碎方式得到的蓝莓渣经冷冻干燥后可溶性蛋白、可溶性总糖和还原糖含量均显著高于烘干后的蓝莓渣中的相应值。相比冷冻干燥,烘干能更好地保留经超微粉碎后得到的蓝莓渣中的总黄酮,而干燥方式对高速

表 4 不同干燥方法对蓝莓渣营养和功能成分的影响

粉碎方法	干燥方法	可溶性蛋白含量 (mg/g)	可溶性总糖含量 (mg/g)	还原糖含量 (mg/g)	总黄酮含量 (mg/g)	总酚含量 (mg/g)	花色苷含量 (mg/g)
超微粉碎	烘干	0.21±0.02d	223.29±4.73f	183.61±7.37e	37.58±2.01a	18.99±2.05b	10.32±0.86c
	冷冻干燥	0.29±0.01b	309.53±12.86d	247.80±11.04c	33.40±2.31b	18.63±0.97b	10.59±0.23c
高速粉碎	烘干	0.25±0.01c	275.16±17.53e	206.74±2.33d	39.51±1.56a	23.07±1.09a	11.22±0.47b
	冷冻干燥	0.34±0.02b	361.09±16.58c	279.81±3.53b	40.13±3.47a	22.54±1.46a	11.46±0.17b
低速粉碎	烘干	0.31±0.02b	405.76±4.34b	258.30±9.26c	40.50±2.13a	22.06±2.68a	11.89±0.12a
	冷冻干燥	0.39±0.03a	420.74±3.36a	280.93±12.08a	40.25±4.61a	23.39±0.94a	12.30±0.12a

表 5 不同干燥方法对蓝莓渣膳食纤维含量的影响

粉碎方法	干燥方法	SDF 含量 (mg/g)	IDF 含量 (mg/g)	TDF 含量 (%)
超微粉碎	烘干	12.50±0.81a	44.95±5.58b	69.27±0.52a
	冷冻干燥	12.96±0.61a	48.61±5.00b	70.84±4.00a
高速粉碎	烘干	11.24±0.70b	51.71±4.13b	60.98±6.58b
	冷冻干燥	10.75±1.04b	48.89±3.52b	59.65±5.50b
低速粉碎	烘干	9.24±0.52c	55.86±2.87a	63.80±7.60b
	冷冻干燥	8.96±0.31c	57.91±4.00a	62.13±3.21b

3 讨论

植物类食品中的有效成分绝大部分存在于细胞液中,必须通过破坏其细胞壁和细胞膜将其释放出来。普通的粉碎方式很难使细胞充分破碎,而超微粉碎则能充分破坏植物细胞的细胞壁、细胞膜,使细胞中的有效成分释放出来^[6]。刘荣华等对牛蒡子中牛蒡子苷与牛蒡子苷元的研究表明,随着粉碎粒径的减小,牛蒡子苷元、牛蒡子苷的溶出均有不同程度的增加^[24]。胥佳等发现,经超微粉碎后的葡萄籽粉中的花色苷

表 3 粉碎方法对蓝莓汁和蓝莓渣膳食纤维含量的影响

类别	粉碎方式	SDF 含量 (%)	IDF 含量 (%)	TDF 含量 (%)
蓝莓汁	超微粉碎	3.37±0.16d	10.16±0.24e	15.47±1.57c
	高速粉碎	2.74±0.12e	11.14±0.37d	14.75±1.02c
	低速粉碎	2.26±0.13f	12.24±0.25c	15.13±0.60c
蓝莓渣	超微粉碎	5.70±0.50a	17.71±1.10b	24.95±0.92a
	高速粉碎	4.45±0.42b	19.99±2.78a	25.34±1.79a
	低速粉碎	3.71±0.19c	20.12±2.00a	24.53±1.98a

粉碎和低速粉碎得到的蓝莓渣中的总黄酮含量没有显著影响。干燥方式对 3 种粉碎方法得到的蓝莓渣的总酚和花色苷含量均无显著影响。笔者同时分析了烘干和冷冻干燥对 3 种粉碎方式得到的蓝莓渣中的膳食纤维含量的影响。表 5 结果显示,干燥方式对蓝莓渣中的可溶性膳食纤维、不溶性膳食纤维和总膳食纤维含量均无显著影响。

含量比普通粉碎的含量高 28.5%^[25]。李雅等发现,与普通饮片相比,经超微粉碎后的黄芪粉中黄芪甲苷含量提高了 57%,总皂苷含量提高了 62%,黄芪多糖含量提高了 35%^[26]。本研究结果与他们的结果相似:经不同方式粉碎后的蓝莓渣粒径、表面积平均粒径、体积平均粒径排序均为超微粉碎<高速粉碎<低速粉碎,同时蓝莓经超细粉碎后蓝莓汁中的营养成分和生理活性物质含量均显著高于普通粉碎方法的相应结果,而蓝莓渣中残留的营养成分和生理活性物质减少。

超微粉碎可使蓝莓中的可溶性膳食纤维含量比高速粉碎和低速粉碎的显著增加。这可能是由于超微粉碎可使膳食纤维的粒径减小、比表面积增大,破坏不溶性膳食纤维的结构,增大非水溶性膳食纤维中的亲水集团的暴露率^[27]。

烘干是干燥方式中最简单、经济的方法,因而成为食品干燥中最常用的方法,但是由于在烘干过程中往往因使用较高温度而使食品中的一些营养物质、功能性成分变性或转化,从而影响食品的营养价值、保健功能。冷冻干燥可最大程度地保留物料原来的化学组分和物理性质,但是由于其设备复杂、

昂贵、能耗高而仅适用于抗生素、水果、蔬菜等要求较高的物料干燥。笔者在干燥蓝莓渣时为最大程度地保留其中的营养物质和生理活性成分而使用了较低的烘干温度(40℃)和冷冻干燥方式。结果表明,冷冻干燥的蓝莓渣中的可溶性蛋白质、可溶性总糖和还原糖含量均显著高于烘干蓝莓渣中的相应值,这一结果与多数研究结果一致。然而,冷冻干燥和烘干后的蓝莓渣中的总酚、总黄酮和花色苷含量并没有显著差异,这一结果与郭泽美等的研究结果有所不同^[28],他们的研究表明,60℃烘干后的葡萄果皮中的总酚、黄酮类物质和花色苷含量显著高于冷冻干燥后的葡萄果皮中的相应值。笔者认为,出现这种现象的原因可能是,虽然冷冻干燥过程能抑制有关酶的活性,但是在冻干完成并恢复至室温后部分酶仍能恢复活性而使酚、黄酮和花色苷降解,而60℃烘干可使相关酶发生不可逆转的失活从而不再降解酚、黄酮和花色苷。然而,笔者所使用的40℃烘干过程虽能在一定程度上抑制相关酶活性,但不能使相关酶发生不可逆的失活,所以导致酚、黄酮和花色苷的降解。

4 结论

超微粉碎可显著增加蓝莓汁中营养成分、生理活性物质和可溶性膳食纤维含量,同时减少其在蓝莓渣中的残留,提高蓝莓的利用率。无论使用何种粉碎方法,蓝莓渣中均残留大量的营养物质和生理活性物质。与低温烘干蓝莓渣相比,冷冻干燥蓝莓渣虽能更好地保留其中的营养成分,但是生理活性物质含量并无显著差异。由于蓝莓渣中生理活性物质的利用价值相对较高,所以在综合考虑蓝莓利用效率和蓝莓渣加工成本后,笔者认为蓝莓超微粉碎和蓝莓渣低温烘干更适合蓝莓加工和蓝莓渣的废物利用。

参考文献:

- [1] 杨红澎,蒋与刚. 蓝莓的活性成分、吸收代谢及其神经保护作用研究进展[J]. 卫生研究,1994,39(4):525-528.
- [2] Cahyana Y, Gordon M H. Interaction of anthocyanins with human serum albumin: influence of pH and chemical structure on binding [J]. Food Chemistry,2013,141(3):2278-2285.
- [3] Wu T, Qi X, Liu Y, et al. Dietary supplementation with purified mulberry (*Morus australis* Poir) anthocyanins suppresses body weight gain in high-fat diet fed C57BL/6 mice[J]. Food Chemistry,2013,141(1):482-487.
- [4] Khanal R C, Howard L R, Brownmiller C R, et al. Influence of extrusion processing on procyanidin composition and total anthocyanin contents of blueberry pomace[J]. Journal of Food Science,2009,74(2):H52-H58.
- [5] Lee J, Durst R W, Wrolstad R E. Impact of juice processing on blueberry anthocyanins and polyphenolics: comparison of two pretreatments[J]. Journal of Food Science,2002,67(5):1660-1667.
- [6] Chau C F, Wang Y T, Wen Y L. Different micronization methods significantly improve the functionality of carrot insoluble fibre[J]. Food Chemistry,2007,100(4):1402-1408.
- [7] Zhang Z P, Song H G, Peng Z, et al. Characterization of stipe and cap powders of mushroom (*Lentinus edodes*) prepared by different grinding methods[J]. Journal of Food Engineering,2012,109(3):406-413.
- [8] Hemery Y, Chaurand M, Holopainen U, et al. Potential of dry fractionation of wheat bran for the development of food ingredients, part I: influence of ultra-fine grinding [J]. Journal of Cereal Science,2011,53(1):1-8.
- [9] Wu G C, Zhang M, Wang Y Q, et al. Production of silver carp bone powder using superfine grinding technology: suitable production parameters and its properties[J]. Journal of Food Engineering,2012,109(4):730-735.
- [10] Muellerharvey I. Analysis of hydrolysable tannins[J]. Animal Feed Science & Technology,2001,91(1):3-20.
- [11] Vaghri Z. Antioxidant components and color characteristics of blueberries dried by different methods [D]. Iran: The Imperial University of Medical Sciences,2000.
- [12] Ratti C. Hot air and freeze-drying of high-value foods: a review [J]. Journal of Food Engineering,2001,49(4):311-319.
- [13] Li H, Jiao X L, Geng L G. The present status and prospect of research on rapid freeze-drying food in China [J]. Journal of Advances in Chemistry,2005,1(1).
- [14] 王学奎. 植物生理生化试验原理和技术[M]. 北京:高等教育出版社,2006.
- [15] 赵慧芳,王小敏,闫连飞,等. 黑莓果实中花色苷的提取和测定方法研究[J]. 食品工业科技,2008,29(5):176-179.
- [16] 李静,聂继云,李海飞,等. Folin-酚法测定水果及其制品中总多酚含量的条件[J]. 果树学报,2008,25(1):126-131.
- [17] 宋元清,王艳平,毛远菁. 分光光度法测定芦笋中总黄酮的含量[J]. 化学分析计量,2005,14(4):52-53.
- [18] 汪红,祁玉峰,魏红. 酶重量法测定食品中膳食纤维含量方法的改进[J]. 食品工业科技,2007,28(9):203-205.
- [19] 韩俊娟,木泰华,张柏林. 膳食纤维生理功能的研究现状[J]. 食品科技,2008,33(6):243-245.
- [20] Giacco R, Clemente G, Riccardi G. Dietary fibre in treatment of diabetes: myth or reality? [J]. Digestive & Liver Disease,2002,34(S2):140-144.
- [21] Lecumberri E, Goya L, Mateos R, et al. A diet rich in dietary fiber from cocoa improves lipid profile and reduces malondialdehyde in hypercholesterolemic rats[J]. Nutrition,2007,23(4):332.
- [22] Peters U, Sinha R, Chatterjee N, et al. Dietary fibre and colorectal adenoma in a colorectal cancer early detection programme [J]. Lancet,2003,361(9368):1491-1495.
- [23] 刘成梅,熊慧薇,刘伟,等. IHP处理对豆渣膳食纤维的改性研究[J]. 食品科学,2005,26(9):112-115.
- [24] 刘荣华,马志林,邵峰,等. 不同粉碎度对牛蒡子主要有效成分溶出的影响研究[J]. 江西中医药,2010,41(12):70-72.
- [25] 胥佳,魏嘉颐,李锦麟,等. 超微粉碎处理对葡萄籽中原花青素和脂肪酸成分的影响[J]. 中国农学通报,2011,27(17):92-97.
- [26] 李雅,杨永华,蔡光先. 超微粉碎技术对黄芪药材主要化学成分提取率的影响. 中成药,2008,30(2):229-231.
- [27] 刘成梅,刘伟,林向阳,等. Microfluidizer对膳食纤维溶液物理性质的影响[J]. 食品科学,2004,25(2):72-75.
- [28] 郭泽美,任章成,陈腾,等. 干燥方式对葡萄皮多酚及其抗氧化活性的影响[J]. 食品科学,2013,34(11):117-121.