

赵 龙, 张茂龙, 赵 欢, 等. 超细粉碎技术在黑莓全果制浆中的应用[J]. 江苏农业科学, 2014, 42(3): 206–209.

超细粉碎技术在黑莓全果制浆中的应用

赵 龙¹, 张茂龙², 赵 欢³, 张学建¹, 顾笑笑¹, 张裕中¹

(1. 江南大学食品装备工程研究中心, 江苏无锡 214122; 2. 江苏东方名厨食品科技有限公司, 江苏南京 211226;

3. 无锡轻大食品装备有限公司, 江苏无锡 214122)

摘要:以南京白马地区大量种植的黑莓为研究对象, 采用高效超细湿法粉碎技术, 对黑莓鲜果全利用加工技术进行研究, 分析黑莓物料的特性及其断裂粉碎机理, 提出对黑莓物料较为有效的粉碎方式为剪切粉碎, 并利用 JM 系列胶体磨和自主研制的高速切割粉碎机, 对新鲜黑莓进行粉碎试验, 采用粒度仪分析黑莓全果在不同设备和不同操作参数下粒度分布情况。研究表明, 采用高速切割粉碎机在动刀头转速为 9 000 r/min、静刀片齿数为 222 个、粉碎 3 次时, 黑莓全果被粉碎的平均粒径为 83 μm 左右, 此时生产的黑莓浓浆细度最佳、效率最高, 符合生产实际的需求。

关键词:超细粉碎; 黑莓全果; 高速切割; 制浆技术; 粒度分析

中图分类号: TS255.36 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2014)03-0206-04

黑莓又名美国塔斯洲黑树莓、美国赫尔黑莓, 原产于北美, 1986 年由位于南京的江苏省中国科学院植物研究所首次引入我国^[1]。黑莓属蔷薇科悬钩子属藤本植物, 以“高营养、高抗性、无污染、纯天然”等特点被联合国粮农组织 (FAO) 推荐为当今国际第 3 代新型特种浆果类品种^[2]。果实为聚合果, 单果质量 6~10 g, 成熟果实呈紫红色, 透亮晶莹, 柔嫩多汁, 酸甜爽口。黑莓鲜果营养丰富, 可溶性固形物、总糖、总酸、糖酸比、粗蛋白、维生素、矿物质和氨基酸含量分别为 7.5%、5.13%、1.36%、3.77、1.70%、1.246 mg/kg、16.865 mg/kg、82.90 mg/kg^[3], 含水量高达 85.5%, 可制成果汁饮料、果酱、糖水罐头、干红酒、冷饮和糕点等, 加工后大部分营养成分可以得到保留。

黑莓属于加工型水果。黑莓产业目前已经成为南京市溧水区农业五大支柱产业之一, 是全省最大的黑莓标准化示范园, 被誉为“中国黑莓之乡”。黑莓产量的增加能否促进产业的发展, 很大程度上决定于加工品的开发。目前, 江苏省黑莓加工产品主要是果汁饮料和糖水罐头。黑莓加工存在不少问题, 以加工黑莓汁为例, 黑莓原料含水量大、黏稠度高、韧性强, 若烘干后再进行粉碎或采取传统的湿法粉碎设备进行粉碎加工, 存在产量低、磨损大、能耗高、品质低、污染严重等一系列问题, 同时会产生大量的废弃物——黑莓渣, 生产 1 t 黑莓汁将产生大约 250 kg 的渣。残渣中含有大量花色苷等多酚类化合物, 对黑莓渣进行开发和利用, 不仅能够减少环境污染和资源浪费, 而且能大大提高产品的附加值。

从黑莓粉碎后粒径和口感等角度出发, 探究湿法粉碎设备中胶体磨和高速切割粉碎机的粉碎机理, 比较 2 种湿法粉碎设备在不同操作参数下对黑莓全果粉碎效果的影响, 以探

究采用超细粉碎机工业化处理黑莓全果的可能性, 为充分利用黑莓这一季节性强、产量大的农产品提供有力的支持^[4-7]。

1 黑莓物料特性与粉碎机理分析

1.1 黑莓物料特性

黑莓鲜果中纤维物质的含量是其他水果的 3 倍多^[8], 而纤维素化学结构中含有许多亲水基团, 再加上植物纤维具有非常复杂的线性结构和网状结构, 物料也就具有了良好的持水性^[9-10]。纤维素在水中浸泡后会具有很强的韧性, 这使得纤维物料具有较高的抵抗变形和吸收冲击的能力, 因此, 黑莓经粗破碎以后会产生大量的皮渣 (图 1)。

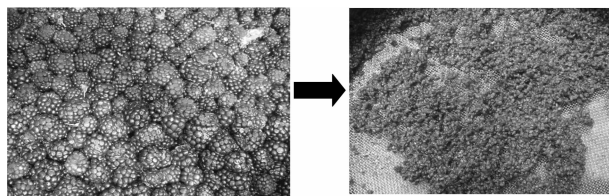


图1 黑莓破碎后产生的皮渣

1.2 物料粉碎机理

对纤维素有效的粉碎方式为拉应力、剪应力以及研磨力的综合作用。在研磨力的作用下, 植物纤维材料便会受到破坏, 而拉应力和剪切力则会使材料断裂细化。在实际生产中, 用于纤维物料粉碎的设备必须能够保证机器在实际运行的过程中产生强烈的拉应力、剪应力和研磨力^[11]。若要产生如此强大的综合力场, 较为有效的方法是将粉碎机的关键部件刀头制作成如图 2 所示的结构, 要加工的物料从动刀头、定刀片之间的微细间隙流动, 在机械力、流体力学效应的综合作用下, 产生很大的剪切力、摩擦力、撞击力等, 物料运送过程中纤维被切断, 此种状态下刀刃对物料的粉碎以剪切力为主, 剪切效果良好。由于具有多把定刀片和动刀头, 从而使纤维物料在受到多次循环剪切的作用下被逐渐细化, 达到粉碎的效果。因此, 在对黑莓物料进行粉碎制浆的时候, 应结合物料的特性选择合理的粉碎方式, 使粉碎效率最高、产品细度最好^[12]。

收稿日期: 2013-06-16

基金项目: 江苏省科技型创新资金 (编号: BC2010031)。

作者简介: 赵 龙 (1988—), 男, 硕士研究生, 研究方向为食品加工与成套装备技术。E-mail: 773874530@qq.com。

通信作者: 张裕中 (1955—), 男, 江苏南京人, 教授, 研究方向为食品加工与成套装备技术。E-mail: zhang30398@163.com。

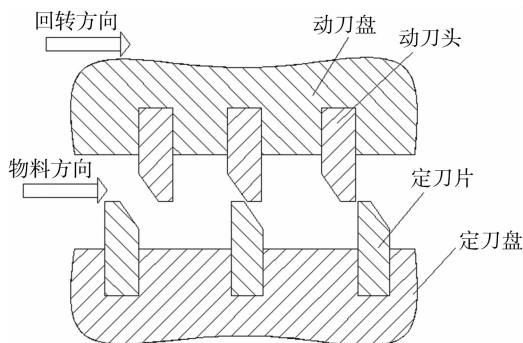


图2 粉碎机定刀、动刀结构示意图

2 湿法粉碎机理

2.1 胶体磨粉碎机理

胶体磨作为一种超微湿法粉碎加工设备,自 20 世纪 70 年代末进入我国以来,已广泛应用在食品加工中。胶体磨又名分散磨(colloid or dispersion mill),其磨头主要由定子和转子组成,两者之间有一个带有微小间隙的接触面,工作时,转子转动形成一个强大的离心空间,在重力作用下,被加工物料被吸入胶体磨的粉碎腔内,在转子离心力的作用下,物料被强制性通过定转子之间的微小间隙,当转子高速旋转时,黏附在旋转面上的物料速度最大,而在定子上的物料相对于转子而言是静止的,其间便产生了较高的速度梯度,这对具有一定黏度流动物料产生强大的剪切力。胶体磨定转子原理如图 3 所示^[13]。

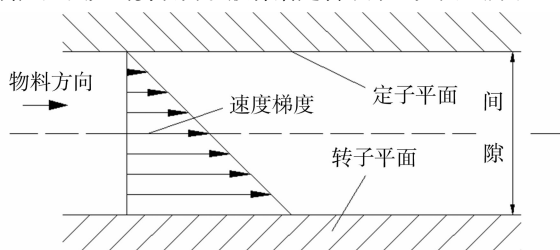


图3 胶体磨定转子工作原理简图

胶体磨在工作过程中,可在极短的时间内实现对黏稠物料的固形物进行超微粉碎,并兼有混合、乳化、均质等作用。胶体磨机器结构简单,操作简便,占地面积较小;但是由于胶体磨定子和转子磨体之间的间隙极小、工作部分面积较大,加工精度虽然提高但易磨损。另外,由于结构的原因,胶体磨的处理量非常有限,需要采用强制喂料装置才能保证物料的顺畅流动。

2.2 高速切割粉碎机的粉碎机理

基于高速切割粉碎技术而开发的粉碎机来源于美国食品机械行业^[14],主要用于对食品类物料的粉碎、分散和均质等,特别是对流动性较好的黏稠状物料,具有高效的磨碎效果。高速切割粉碎机采用渐次剪切原理,使产品一次性通过静止的粉碎切割头,粉碎效果较好且颗粒均匀,较传统湿法粉碎方式而言产量也较高,该技术关键在于精密配合的粉碎切割头部件与高速稳定运转的叶轮转子。

高速切割粉碎机的关键结构及工作原理如图 4 所示。黑莓原料在转子形成的强大吸力和物料重力的综合作用下,被吸进高速旋转的叶轮中央区域,在电动机和叶轮离心力的驱动下,以极高速度撞击在粉碎切割头静刀片露出的锋利切割

边缘上。动刀头和静刀片在运动的过程中,上动刀片的切割边缘与粉碎切割头静刀片的切割边缘恰似剪刀的 2 个刃口,黑莓瞬时受到强剪切力的作用,植物纤维就像剪刀剪棉纱一样被剪断。由于定子中安装的静刀片数量很多,在叶轮高速旋转的过程中,切割也在持续地进行,从而使黑莓物料被渐次切割粉碎,粉碎后的产品颗粒从静刀片之间的极小间隙强制排出,由于叶轮的转速极高,黑莓物料在粉碎腔内只能停留很短的时间。该设备各个刀片对物料的切割量稳定,具有粉碎速度快、粉碎后产品粒度大小均匀等特点^[15-16]。

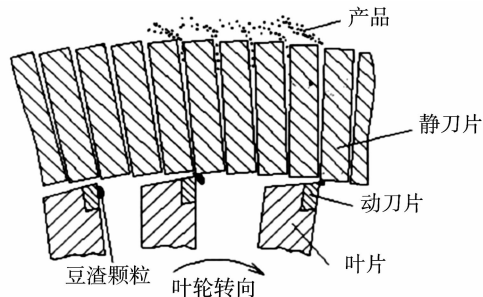


图4 高速切割粉碎过程示意图

3 材料与方法

3.1 试验材料

新鲜黑莓,由南京市溧水区白马镇提供。

3.2 试验设备及仪器

TCS-100 型电子计价台秤,永康市香海衡器厂生产;JM60 型胶体磨,上海田岗机械制造有限公司生产;QDW I 3000-18 型卧式湿法粉碎机,无锡轻大食品装备有限公司生产;QDGX-15 型高速切割粉碎机,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;激光粒度分析仪 Mastersizer2000,英国马尔文仪器有限公司生产。

3.3 设备参数设置

JM60 型胶体磨:间隙为 110 μm 左右(低于 110 μm 时,黑莓物料通过机器流动较困难),转速为 3 000 r/min(最高转速),粉碎试验次数分别采取 1 次、2 次和 3 次。

QDGX-15 型高速切割粉碎机:静刀片数量分别为 206 个、216 个和 222 个,转速分别选取 6 000、7 500、9 000 r/min,粉碎试验次数分别采取 1 次、2 次和 3 次。

激光粒度分析仪:黑莓颗粒折射率为 1.500,吸收率为 1.000,分散剂为纯净水,分散剂折射率为 1.330,粒度分析软件为 Mastersizer2000 自带配套软件。

3.4 试验方法

按图 5 所示步骤进行:称取约 20 kg 的新鲜黑莓,去除杂质,洗净晾干,放入 QDW I 3000-18 型卧式湿法粉碎机中进行粗破碎,得到具有一定流动性的黑莓浓浆;将粗破碎后的黑莓浆液等分为 13 份,分别予以编号,取其中 4 份分别放入 JM60 型胶体磨和配备不同齿数的高速切割粉碎机中进行多次粉碎试验,分别取粉碎 1 次、2 次和 3 次后的黑莓样品用激光粒度仪分析测试,以体积平均粒径作为浓浆的考察指标;将其余 9 个样品进行 $L_9(3^3)$ 正交试验(表 1)^[17],并作粒度测试,以研究高速切割粉碎机粉碎次数、动刀头转速、静刀片数量对黑莓全果粉碎细度的影响。

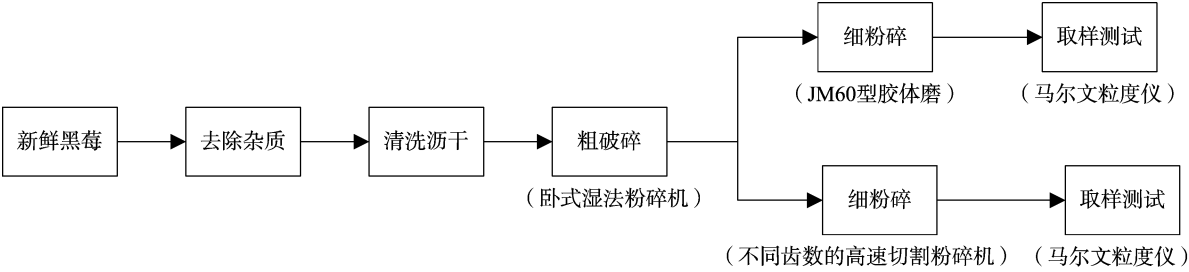


图5 黑莓浓浆加工工艺与粒度测试流程

表 1 黑莓高速切割粉碎 3 因素 3 水平正交试验因素与水平

水平	A: 动刀头转速 (r/min)	B: 静刀片数量 (个)	C: 粉碎次数 (次)
1	6 000	222	1
2	7 500	216	2
3	9 000	206	3

3.5 基本指标测定

选取在不同操作参数下粉碎的黑莓浓浆约 10 mL,放入盛有纯净水的粒度仪测试专用烧杯中,混合搅拌并摇匀,粒度仪分散头的旋转速度设定为 2 200 r/min。稍候片刻,待黑莓浓浆在纯净水中完全分散均匀之后,仪器的系统分析软件会自动以表格和图像的形式显示黑莓浓浆的粒度分布及体积平均粒径。

4 结果与分析

4.1 胶体磨和高速切割粉碎机多次粉碎试验结果

胶体磨转速设置为 3 000 r/min,高速切割粉碎机转速均为 9 000 r/min。由图 6、图 7 可见,用不同加工设备粉碎黑莓全果,随着粉碎次数的增加,粒度都呈减小趋势,但当粉碎 3

次以后,曲线斜率降低,粉碎次数增加对粒度的影响变小。这是因为在粉碎初期,用 QDW I 3000 - 18 型卧式湿法粉碎机粗破碎后的黑莓粒径在 498 μm 左右,大颗粒较多,经过初次粉碎后,黑莓浆料的粒度变化较明显,随着颗粒的减小,受到定子与转子间隙和转速等条件的限制,较细的黑莓浆料难以受到更强烈的粉碎,其能耗的提高得不到应有的粉碎效果。胶体磨随着粉碎次数的增加,黑莓浓浆的粒度会有一定程度的变化,粉碎 4 次后,其体积平均粒度为 136. 228 μm ,低于高速切割粉碎机不同配置同样粉碎次数的粉碎细度。高速切割粉碎机以静刀片数量为 222 个粉碎效果最好,在同样粉碎次数下粉碎粒度最细。

试验结果还表明,采用功率相同的设备粉碎约 4 kg 相同质量的黑莓物料,在保证正常生产条件下,胶体磨单次粉碎需要 20 s,产量推算为 720 kg/h,配备 222 齿的高速切割粉碎机单次粉碎需要 12 s,产量推算为 1 200 kg/h,胶体磨粉碎时间相对较长。这是由于部分物料在多次粉碎条件下,在胶体磨的粉碎腔内停留时间延长,受到定转子研磨的次数增加。因此,采用高速切割粉碎机加工黑莓全果,效率较高,产量较大,更适合工业化大生产,胶体磨只适合于实验室多次研磨细化

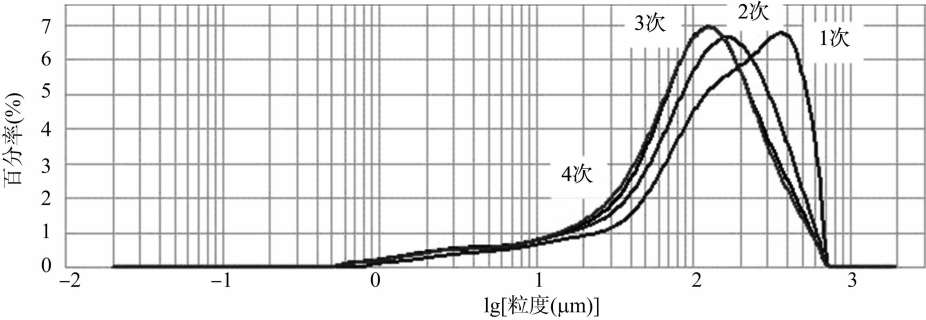


图6 胶体磨在不同粉碎试验次数下黑莓粒度分布

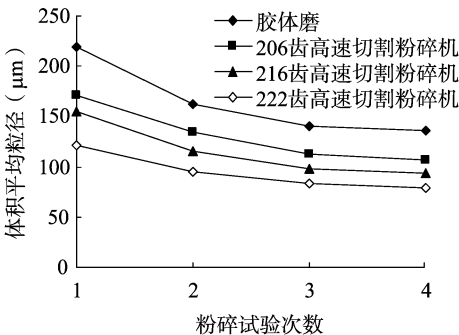


图7 不同设备在不同粉碎试验次数下黑莓粒径曲线

黑莓全果之用,不适合工业化大批量处理黑莓。

须注意的是,试验发现,胶体磨粉碎黑莓全果过程中,物料用量过大会直接影响机器的正常运行,造成转子卡死;随着粉碎次数的增加,能耗增加,物料的温度也明显升高,会直接影响黑莓浓浆的品质。

4.2 高速切割粉碎机粉碎正交试验结果

由表 2 可知,在不同粉碎次数、动刀头转速和静刀片数量的配比下,黑莓全果粉碎后的细度有所差异。由极差分析可知,对细度影响的主次顺序为:动刀头转速(A) > 静刀片数量(B) > 粉碎次数(C),其最佳因素组合为 $A_3B_1C_3$,即动刀头转速 9 000 r/min、静刀片数量为 222 个、粉碎次数为 3 次。在最

佳工艺水平条件下重复 3 次试验,马尔文粒度仪测试后的粒度分布如图 8 所示,黑莓全果粉碎后粒度在 $(83 \pm 3) \mu\text{m}$,误差范围较小,符合生产实际的需求。

5 小结与讨论

研究结果表明,胶体磨和高速切割粉碎机对黑莓全果的粉碎加工都有一定的作用,在一定程度上都能实现对黑莓鲜果的全利用,但是,并非 2 种设备都适合工业化生产中对黑莓全果的加工。新鲜黑莓经胶体磨单次循环粉碎后粒径为 $206.849 \mu\text{m}$,处理量约为 720 kg/h ;经配备 222 齿的高速切割粉碎机单次粉碎后粒径为 $121.773 \mu\text{m}$,处理量约为 $1\,200 \text{ kg/h}$,无论在细度上、产量上还是能耗上,高速切割粉碎机都表现出明显的优势。

高速切割粉碎机各项操作参数中,动刀头转速对黑莓全果粉碎细度的影响最大,静刀片数量影响次之,而粉碎次数对黑莓全果的粉碎细度影响最小。当动刀头转速为

表 2 高速切割粉碎机粉碎正交试验方案及试验结果

试验号	因素水平			体积平均粒径 (μm)
	A	B	C	
1	1	1	1	146.378
2	1	2	2	170.458
3	1	3	3	182.526
4	2	1	2	144.386
5	2	2	3	145.911
6	2	3	1	158.855
7	3	1	3	83.058
8	3	2	1	154.944
9	3	3	2	134.252
均值 1	166.454	124.607	153.392	
均值 2	149.717	157.104	149.699	
均值 3	124.085	158.544	137.165	
极差 R	42.369	33.937	16.227	
优级水平	A ₃	B ₁	C ₃	

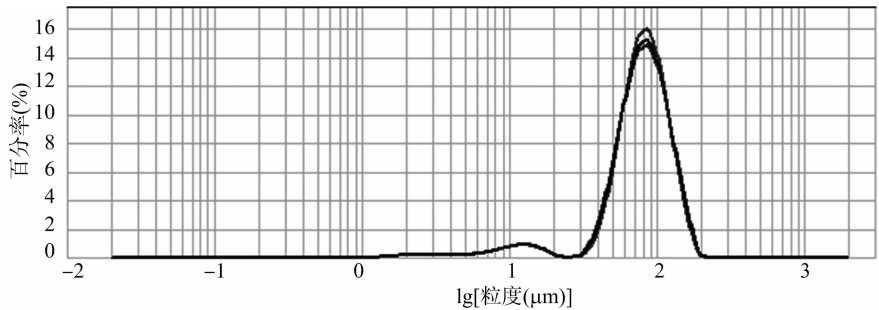


图8 A₃B₁C₃条件下重复3次试验的黑莓粒度分布

9 000 r/min、静刀片数量为 222 个、粉碎次数为 3 次时,黑莓全果被粉碎的平均粒径为 $83 \mu\text{m}$ 左右,满足一般液态黑莓食品的口感要求,产品细腻,无粗糙感。采用高速切割粉碎机生产的黑莓产品是其他常用湿法粉碎设备所不能媲美的。超细粉碎技术在黑莓全果制浆中的应用研究,将为整个黑莓加工产业的快速发展提供强有力的保障,同时也为各果蔬加工企业更好地充分利用黑莓全果提供技术与装备支撑。

参考文献:

[1] 吴文龙,顾 姻. 新经济植物黑莓的引种[J]. 植物资源与环境, 1994,3(3):45-48.

[2] 王玉霞,张 超. 黑莓的开发与利用[J]. 西南园艺,2002,30(3):6.

[3] 李维林,孙醉君,郑海燕. 黑莓鲜果及其加工品的营养成分[J]. 天然产物研究与开发,1998,10(1):55-59.

[4] 王忠军,刘 智,侯国才. 做大深水特色果业 打造中国“黑莓之乡”[J]. 中国农业信息,2006(8):19-20.

[5] 李维林,吴文龙,闫连飞. 黑莓品种宝森在江苏南京的表现[J]. 中国果树,2007(4):19-21.

[6] 吴文龙,陈 岳,孙醉君,等. 黑莓的优良品种“赫尔”与“切斯特”及其栽培技术[J]. 中国果树,1995(4):16-18.

[7] 吴文龙,陈 岳,闫连飞,等. 黑莓、树莓在南京地区的引种研究[J]. 江苏林业科技,2006,33(2):13-15,20.

[8] 赵伯涛,钱 骅,张卫明,等. 黑莓榨汁残渣中花色素的提取纯

化、稳定性及功能研究[J]. 食品科学,2005,26(9):157-161.

[9] 张炳文,郝征红,王建军. 蒸煮挤压与超细粉碎技术在豆渣产品开发中的应用研究[J]. 粮油加工与食品机械,2005(6):74-76.

[10] 刘 伟,刘成梅,林向阳,等. 膳食纤维的国内外研究现状与发展趋势[J]. 粮食与食品工业,2003,15(4):25-27.

[11] 范天佑. 断裂理论基础[M]. 北京:科学出版社,2003:5-25.

[12] 夏 芸,张茂龙,张裕中. 鲜湿豆渣湿法粉碎技术研究[J]. 粮食与食品工业,2011,18(4):12-18.

[13] 高福成. 食品工程原理[M]. 北京:中国轻工业出版社,1998:403-404.

[14] Urschel J R. Machine for and method of comminuting a product: USA,3251389[P]. 1966-05-17.

[15] 张茂龙,陈锡春,高青令,等. 高速切割技术及其在鲜湿豆渣超细粉碎中的应用[J]. 食品与机械,2010,26(5):105-108,154.

[16] 徐 凯,高友生,张裕中. 含纤维食品物料的湿法粉碎[J]. 包装与食品机械,2003,21(3):1-3.

[17] 吴有炜. 实验设计与数据处理[M]. 苏州:苏州大学出版社,2002:3-50.

[18] 吴文龙,闫连飞,孙 视,等. 蓝浆果原汁及果汁饮料加工技术[J]. 食品工业科技,1999,20(5):38-40.

[19] Pantelidis G E, Vasilakakis M, Manganaris G A, et al. Antioxidant capacity, phenol, anthocyanin and ascorbic acid contents in raspberries, blackberries, red currants, gooseberries and cornelian cherries[J]. Food Chemistry,2007,102(3):777-783.