

挤压谷物原料成分与理化性质之间的相关性分析

杜江美, 张 晖*, 钱海峰, 王 立, 郭晓娜, 齐希光

(江南大学 食品学院, 江苏 无锡 214122)

摘要: 采用双螺杆挤压机将 9 种谷物在同一条件下挤压膨化, 研究比较了 9 种谷物原料挤压后的理化性质: 糊化度、吸水指数、水溶性指数、膨胀度、硬度、脆性和保脆性, 分析了谷物原料成分与挤压后产品的理化性质之间的相关关系, 以及各理化性质之间的相关关系。

关键词: 双螺杆挤压; 谷物; 理化性质; 相关性

中图分类号: TS 210.1

文献标志码: A

文章编号: 1673—1689(2012)09—0996—06

Correlation Analysis between the Composition of Grains and Physicochemical Properties of Extruded Products

DU Jiang-mei, ZHANG Hui*, QIAN Hai-feng, WANG Li, GUO Xiao-na, QI Xi-guang

(School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

Abstract: Extrusion cooking has become an important direction of grain processing. Nine kinds of grain were extruded using a twin-screw extruder in the same condition. The physicochemical properties of extruded products, which included gelatinization degree, water absorption index, water solubility index, expansion ratio, hardness, crispness and bowl life, were studied and compared. The correlation between the composition of materials and physicochemical properties of products, as well as the correlation between the physical and chemical properties, were studied.

Keywords: twin-screw extrusion, grain, physicochemical property, correlation

挤压膨化是一种高温短时的食品加工方法, 该方法具有原料浪费少、产量高、产品品质稳定、原料适用性广、环境友好等诸多优点^[1], 被广泛应用于以淀粉为基质的物料加工中。挤压谷物可进一步加工为休闲食品和早餐谷物等, 是挤压食品中最重要的—类, 现已经成为研究与加工的热点。其中有关挤压谷物的理化性质的研究也很多, 诸如 Ilo S^[2]研究

了双螺杆挤压条件对玉米表观粘度和特性的影响等。也有学者对原料成分与挤压产品的理化性质之间的关系进行了研究, 如 Hoan^[3]研究了淀粉、脂肪和水分含量对大米挤压产品特性的影响, Singh B^[4]研究了水分、温度和豌豆添加量对大米挤压产品性质的影响。其中, 研究原料成分与挤压产品理化性质之间的关系有助于选择适合的原料作为产品的基

收稿日期: 2011-07-05

* 通信作者: 张晖(1966—), 女, 上海人, 工学博士, 教授, 博士研究生导师, 主要从事粮食、油脂与植物蛋白工程方面的研究。

E-mail: zhanghui@jiangnan.edu.cn

料,对挤压休闲食品和早餐谷物基料的选择尤为重要。然而国内外很少有系统地研究多种谷物原料成分与挤压产品的理化性质之间的相关性。

作者选择了常见的9种谷物,包括米类、麦类及豆类,试图探究物料成分与挤压产品的理化性质之间的相关关系,同时研究了理化性质之间的相关关系,为休闲食品和早餐谷物加工基料的选择提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

玉米、小麦、大米、燕麦、大麦、小米、黑米、红豆、绿豆:购于无锡一袋米粮食公司;Taka 淀粉酶,Fluka 86247;西格玛公司;中温淀粉酶:无锡杰能科酶制剂公司;浓硫酸、氢氧化钠、盐酸、无水乙醚、无水乙醇、碘、硫代硫酸钠:均为国产分析纯。

1.2 仪器与设备

PTW24/25D 双螺杆挤压机:Thermo Electron Corporation 生产,螺杆直径 24 mm,长径比为 25:1,模口直径 5 mm,配备 Brabender 双螺杆喂料器(型号 DDSR20N-PRISM);TA-XT2i 物性测定仪:英国 Stable Micro System 公司;离心机:长沙湘仪离心机有限公司;分光光度计:无锡科达智能仪器厂;游标卡尺:0~150 mm,杭州工具量具有限公司;HWS24 型水浴锅:上海一恒科技有限公司;消化炉:上海洪纪仪器设备有限公司;电热鼓风干燥箱:上海市实验仪器总厂。

1.3 实验方法

1.3.1 主要成分分析 水分质量分数的测定:GB 5009.3-85;蛋白质质量分数的测定:GB/T 14489.2-2008;粗脂肪质量分数的测定:GB/T 14772-2008;总淀粉质量分数的测定:GB/T 5514-2008;直链淀粉质量分数的测定:参考 Scott JM 的方法^[5]。

1.3.2 糊化度的测定 酶水解法,参考王肇慈的方法^[6]。

1.3.3 吸水指数(WAI)和水溶性指数(WSI)的测定

1)WAI:准确称取 2.5 g 磨碎的样品,在 30 ℃ 时与 30 mL 蒸馏水一起放入恒重的 50 mL 离心管中,搅动 30 min,然后 3 000 g 离心 10 min。上清液转入恒重的称量皿中,称量留下的胶体的质量^[7],计算 WAI:

$$WAI = \frac{m_2 - m_1}{W}$$

式中: m_1 为离心管质量,g; m_2 为盛有胶体的离心管质量,g; W 为样品质量,g。

2)WSI:将上述 WAI 测定中的上清液蒸发后,测得溶解于上清液中的样品的质量,计算 WSI。

$$WSI = \frac{m_2 - m_1}{W}$$

式中: m_1 为蒸发皿质量,g; m_2 为上清液蒸发后蒸发皿质量,g; W 为样品质量,g。

1.3.4 横向膨胀度(CE)和纵向膨胀度(LE) 测量方法:从挤压后的样品中任意取 20 根 40 mm 长度左右的样品,用游标卡尺测量各样品的长度、直径、质量,记录数据^[8-9]。

$$\text{横向膨胀度} = \left(\frac{d}{D}\right)^2$$

式中: d 为测量的样品的直径,mm; D 为模头直径,mm。

$$\text{纵向膨胀度} = \frac{l}{m}$$

式中: l 为样品的长度,cm; m 为对应样品的质量,g。

1.3.5 硬度的测定 采用 TA-XT2i 物性测定仪,探头类型 HPB/3PB,压缩模式,距离 40 mm,前进速度为 2 mm/s,断裂速度为 2 mm/s,后退速度为 5 mm/s,最大力峰值即为硬度^[10]。

1.3.6 脆性和保脆性的测定 采用 TA-XT2i 物性测定仪,条件同上,以线性距离(Linear Distance)表示为脆性。将样品在常温蒸馏水中浸泡 5 min 后测其脆性,以此来表示保脆性。

1.3.7 工艺流程 原料→粉碎过 40 目→调整水分,均质→双螺杆挤压膨化→55 ℃ 烘箱干燥 2 h→成品

双螺杆挤压膨化的工艺条件:水分含量(24±1)%,喂料速度 1.6(35 r/min),四段螺杆温度从一区到四区依次为 70、90、120、140 ℃,螺杆转速 100 r/min。

1.3.8 试验数据处理 实验数据相关性分析采用 DPS v7.05 版中的相关分析程序;采用 Microsoft Office Excel 2003 对数据进行基本处理和作图。

2 结果与分析

2.1 原料成分分析

所选用的谷物主要组成成分测定结果见表 1。

表1 原料的主要成分

Tab.1 Proximate composition of raw materials

原料	水分质量分数/%	蛋白质质量分数/%	粗脂肪质量分数/%	总淀粉质量分数/%	直链淀粉质量分数/%
玉米	13.94	6.86	0.51	63.12	26.80
大米	14.97	7.06	0.66	81.36	21.26
小米	10.93	11.2	0.03	69.83	18.84
黑米	13.67	8.52	0.03	69.36	15.03
小麦	12.14	12.09	1.55	73.40	25.42
大麦	12.75	11.04	1.75	74.94	37.19
燕麦	13.02	12.8	6.14	66.11	48.27

2.2 挤压谷物的理化性质

挤压谷物的理化性质,主要包括糊化度、吸水指数、水溶性指数、膨胀度、硬度、脆性和保脆性。

2.2.1 糊化度 挤压是一个高温高压的过程,在这个过程中,淀粉主要发生两种变化:糊化和降解。淀粉经高温蒸煮,颗粒中淀粉大分子之间的氢键削弱,造成淀粉颗粒的部分解体,形成网状组织,粘度上升,发生糊化。挤压过程中淀粉的糊化程度与挤压过程中几乎所有的参数都有关:挤压温度、物料水分质量分数、螺杆转速、挤压机结构等,除此之外,原料的化学成分诸如直链淀粉质量分数也有重要影响。

由图1可以看出,挤压处理之后除了红豆的糊化度在83%之外,其他谷物的糊化度都达到了90%以上。这说明挤压加工可以较大幅度地提高淀粉的糊化度,进而提高淀粉的消化率,这是挤压工艺较传统工艺的优势之一。

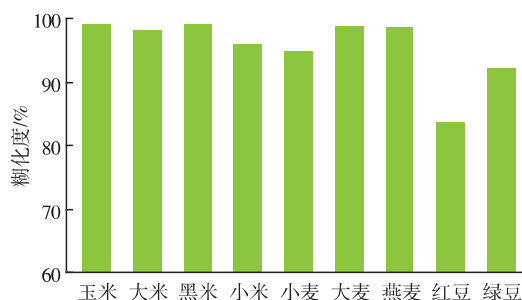


图1 挤压谷物的糊化度

Fig.1 Gelatinization degree of extruded grains

2.2.2 吸水指数(WAI)和水溶性指数(WSI) 吸水指数是淀粉在水中分散吸水能力的指标,也是淀粉溶胀能力的指标。它取决于亲水基团的可利用性及

大分子形成凝胶的能力。糊化和断裂导致淀粉破坏程度的提高,吸水指数也随即提高^[11]。

由图2可以看出,挤压后谷物的吸水指数都有较大幅度的提高,其中小米、小麦和大麦挤压后的吸水指数是挤压前的3倍左右,玉米、大米和燕麦是挤压前的2倍左右。这主要是因为挤压之后淀粉糊化膨胀,形成多孔疏松的结构,这样会导致水分容易进入,与亲水基团结合,吸水指数随之增大。

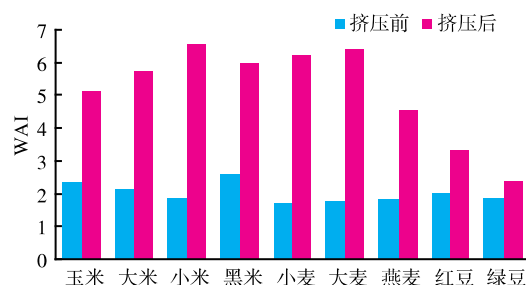


图2 谷物挤压前后的吸水指数

Fig.2 WAI of grains before and after extrusion

水溶性指数通常作为大分子物质降解的指标,衡量在挤压过程中淀粉大分子降解成可溶性多糖的数量^[12]。较高的水溶性指数可以增加产品营养素和能量的可利用性^[13]。

由图3可以看出,除了小麦和大麦之外,其它谷物的水溶性指数都有提高。其中大米挤压后的水溶指数是挤压前的11倍。这主要是因为大米淀粉中支链淀粉质量分数相对较高,支链淀粉在挤压后多降解为多糖、寡糖等,进而水溶性指数提高。玉米挤压后水溶性指数提高到挤压前的6倍左右,小米和黑米提高了4倍左右。水溶性指数高,对于提高产品的消化率有重要意义。

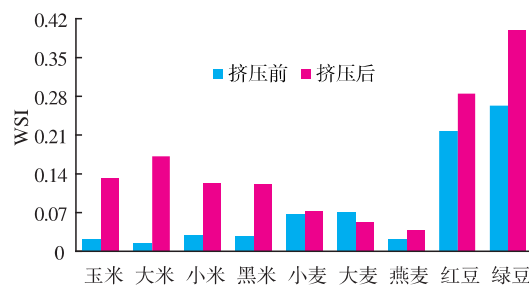


图3 谷物挤压前后的水溶性指数

Fig.3 WSI of grains before and after extrusion

2.2.3 膨胀度 膨胀度是挤压产品最重要的指标之一。膨胀度分为横向膨胀度(CE)和纵向膨胀度(LE)两种。横向膨胀度为样品直径和模孔直径之比的平方,反映样品的横向膨胀情况。纵向膨胀度为

样品长度和质量之比,即单位质量样品的长度。

由图4可以看出,小麦和大麦的横向膨胀度明显高于其他样品,这可能与这两个样品的淀粉和直链淀粉质量分数较高有关,亦可能因为水分质量分数为24%,较适合小麦和大麦的挤压膨化。淀粉是膨化的主要物质,也有研究表明,直链淀粉质量分数在50%以内与膨胀度呈正相关,之后为负相关^[14]。通常纵向膨胀度和横向膨胀度呈负相关,图4也反映了这个趋势。

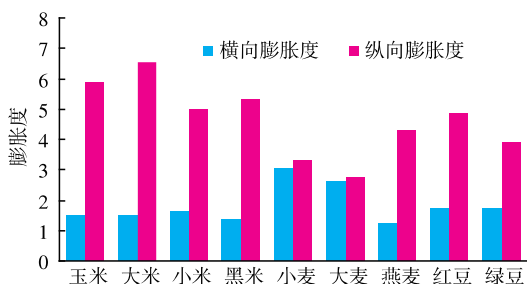


图4 挤压谷物的膨胀度

Fig.4 The expansion ratio of extruded grains

2.2.4 硬度 硬度也是挤压产品重要的指标之一。Brncic 等研究了挤压条件对全小麦粉挤出物硬度的影响,发现螺杆转速、温度和水质量分数对挤出物的硬度都有显著影响^[15]。

由图5可以看出,除燕麦外其它谷物的硬度都较高,其中小麦的硬度最大。这与不同的谷物挤压后产品的微观结构密切相关。如何使挤压产品具有适宜的硬度,需要进一步研究。

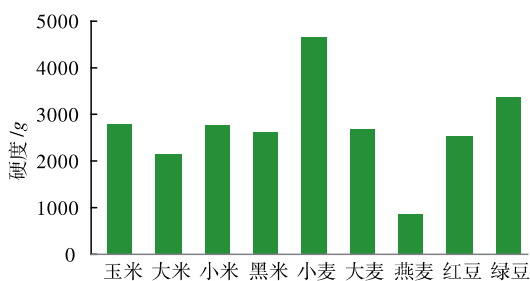


图5 挤压谷物的硬度

Fig.5 Hardness of extruded grains

2.2.5 脆性和保脆性 脆性是挤压休闲食品的重要指标,保脆性是谷物早餐食品的重要指标。王亮^[16]研究了原料特性对谷物早餐保脆性的影响,发现随着蛋白质质量分数的增加,保脆性明显降低,随着脂肪质量分数的增加,保脆性增大。

图6反映了挤压谷物的脆性和保脆性。可以看出,脆性和保脆性呈现了一致的变化趋势,即脆性

大则保脆性也较大。图6也可以看出,玉米、大米、小麦、大麦和燕麦的脆性和保脆性较大,而小米、黑米、红豆和绿豆的脆性和保脆性较小。

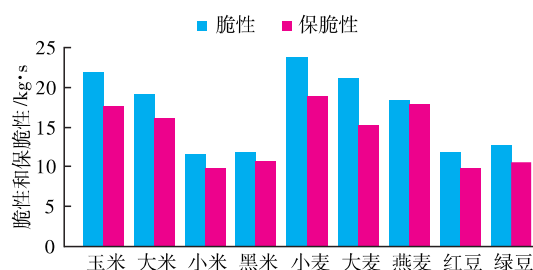


图6 挤压谷物的脆性和保脆性

Fig.6 Crispness and bowl life of extruded grains

2.3 原料成分与理化性质之间的相关性分析

关于原料特性和理化性质之间的相关性分析,有很多研究者进行过类似的研究。Chinnaswamy 等^[14]研究了玉米淀粉中直链淀粉与挤压膨化特性之间的关系,发现当直链淀粉质量分数从0增加到50%时,膨胀度从8增加到16.4,随着直链淀粉质量分数再增加,膨胀度反而下降。Hoan 等^[3]研究发现:脂肪质量分数在8.2%时,大米膨胀度最小;而淀粉质量分数在60%增加到70%的过程中,膨胀度越来越大;淀粉的糊化度随着淀粉质量分数的增加而增加;吸水指数取决于淀粉、脂肪和水分因素的综合作用。

表2反映了原料成分与挤压后产品理化性质之间的相关关系。由表2可以看出:糊化度与淀粉质量分数(42.91%~81.36%)呈显著正相关,与蛋白

表2 挤压谷物原料成分与理化性质之间的相关系数

Tab.2 Correlation coefficients between the composition of grains and physicochemical properties of extruded products

项目	蛋白质	淀粉	脂肪	直链淀粉
糊化度	-0.84**	0.75*	0.34	0.64
WAI	-0.81**	0.90**	0.03	0.41
WSI	0.72*	-0.80**	-0.55	-0.81**
CE	0.07	0.23	-0.07	0.09
LE	-0.42	0.11	-0.30	-0.27
硬度	0.14	-0.06	-0.55	-0.44
脆性	-0.51	0.54	0.37	0.62
保脆性	-0.45	0.55	0.62	0.76*

注:1)WAI吸水指数;WSI水溶性指数;CE横向膨胀度;LE纵向膨胀度;2)* $a=0.05$ 水平上显著,** $a=0.01$ 水平上显著;3)相关系数临界值: $a=0.05$ 时, $r=0.6664$; $a=0.01$ 时, $r=0.7977$ 。

质质量分数(6.86%~21.49%)呈极显著负相关。糊化度与淀粉呈正相关,与前人的研究结果一致。蛋白质与糊化度之间本没有直接关系,但本次试验却显现出了极显著的负相关性。原因可能是蛋白质和淀粉为谷物的主要成分,所以蛋白质质量分数多则淀粉质量分数相对就少,糊化度就低。

由表2同样看出,吸水指数与蛋白质质量分数呈极显著负相关,与淀粉质量分数呈极显著正相关,水溶性指数与蛋白质呈显著正相关,与淀粉和直链淀粉质量分数(6.37%~48.27%)呈极显著负相关。淀粉在挤压过程中发生降解,进而增加吸水指数。水溶性指数与淀粉质量分数呈负相关,此结果与前人的研究结论一致。水溶性指数与直链淀粉呈极显著负相关,原因为支链淀粉在挤压加工中遭到破坏,降解为可溶性多糖,水溶性提高,而直链淀粉无显著变化。关于保脆性与原料成分之间关系的研究至今未见报道,而在本研究发现保脆性和直链淀粉质量分数呈显著正相关,原因可能是直链淀粉在挤压中变化较小,而支链淀粉则降解为可溶性多糖,致使产品浸泡之后容易溶解,保脆性下降。

综上所述,做休闲食品和早餐谷物可以选择膨

胀度和脆性都较高,而硬度较小的玉米、大米、大麦为基料。早餐谷物也可以通过添加直链淀粉质量分数相对较高的原料来提高产品的保脆性。

2.4 理化性质之间的相关性分析

挤压谷物的理化性质之间存在复杂的关系,很多学者对此进行过研究。任嘉嘉^[17]研究了挤压燕麦产品特性之间的相关性,发现产品硬度与脆性、吸水指数之间存在极显著负相关,产品脆性和吸水指数之间存在显著正相关。

表3显示了挤压谷物理化性质之间的相关关系。由表3可以看出,水溶性指数和糊化度之间呈显著负相关,和吸水指数之间呈极显著负相关。这是因为挤压膨化过程中淀粉发生的两种变化——糊化和降解,是此消彼长的关系。吸水指数可以间接反映淀粉的糊化程度,而水溶性指数又代表了淀粉的降解程度,所以两者呈负相关。横向膨胀度和纵向膨胀度之间为显著负相关,这可由两者的定义推断出。硬度和横向膨胀度之间呈显著的正相关,说明产品膨胀的越好,硬度越大,需要两者兼顾才能得到最佳产品。脆性和保脆性之间是呈极显著正相关,这说明浸泡前后产品的脆性和保脆性变化一致。

表3 挤压谷物理化性质之间的相关系数

Tab.3 Correlation coefficients between the physical and chemical properties of extruded grains

项目	糊化度	WAI	WSI	CE	LE	硬度	脆性	保脆性
糊化度	1.00							
WAI	0.62	1.00						
WSI	-0.67*	-0.82**	1.00					
CE	-0.10	0.32	-0.22	1.00				
LE	0.12	-0.01	0.15	-0.72*	1.00			
硬度	-0.23	0.12	0.19	0.76*	-0.38	1.00		
脆性	0.46	0.39	-0.56	0.50	-0.16	0.20	1.00	
保脆性	0.48	0.32	-0.60	0.39	-0.18	0.01	0.95**	1.00

注:1)WAI吸水指数;WSI水溶性指数;CE横向膨胀度;LE纵向膨胀度;2)* $\alpha=0.05$ 水平上显著,** $\alpha=0.01$ 水平上显著;3)相关系数临界值; $\alpha=0.05$ 时, $r=0.6664$; $\alpha=0.01$ 时, $r=0.7977$ 。

3 结 语

挤压后谷物的许多理化性质都得到了较好的改善,糊化度得到较大幅度的提高,吸水指数和水溶性指数得到不同程度的提高,这些都有利于产品的消化吸收。挤压谷物的理化性质和原料成分之间也存在极其复杂的关系,其中糊化度与蛋白质质量分数(6.86%~21.49%)呈极显著负相关,与淀粉质量

分数(42.91%~81.36%)呈显著正相关;吸水指数与蛋白质质量分数呈极显著负相关,与淀粉呈极显著正相关;水溶性指数与蛋白质呈显著正相关,与淀粉和直链淀粉(6.37%~48.27%)呈极显著负相关;保脆性和直链淀粉质量分数呈显著正相关。对于做挤压休闲食品和早餐谷物,可以选择膨胀度和脆性都较高而硬度较小的玉米、大米、大麦为基本原料。而早餐谷物也可以多添加直链淀粉质量分数相对较

高的原料,以提高保脆性。除此之外,理化性质各指标之间也存在一定的相关性,其中水溶性指数和糊化度之间呈显著负相关,与吸水指数之间呈极显著

负相关;横向膨胀度和纵向膨胀度之间为显著负相关,与硬度呈显著正相关;脆性和保脆性呈极显著正相关。

参考文献:

- [1] 杨涛,辛建美,徐青,等. 双螺杆挤压技术在食品工业中的研究应用现状[J]. 食品与生物技术学报,2009,28(6):733-734.
YANG Tao, XIN Jian-mei, XU Qing, et al. The research application status of in food industry[J]. **Journal of Food Science and Biotechnology**, 2009,28(6), 733-734. (in Chinese)
- [2] Ilo S, Tomschik U, Berghofer E, et al. The effect of extrusion operating conditions on the apparent viscosity and the properties of extrudates in twin-screw extrusion cooking of maize grits[J]. **Lebensm-Wissu-Technol**, 1996,29(7): 593-598.
- [3] Hoan N V, Mouquet R C, Treche S. Effets of starch, lipid and moisture contents on extrusion behavior and extrudate characteristics of rice-based blends prepared with a very-low-cost extruder[J]. **Journal of Food Process Engineering**, 2010, 33: 519-539.
- [4] Singh B, Sekhon K S, Singh N. Effects of moisture, temperature and level of pea grits on extrusion behaviour and product characteristics of rice[J]. **Food Chemistry**, 2007, 100: 198-202.
- [5] Scott J M, Hugh J C, Colin J R. A simple and rapid colorimetric method for the determination of amylose in starch products[J]. **Starch-Stärke**, 1998, 50(4): 158-163.
- [6] 王肇慈. 粮食食品品质分析[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2000.
- [7] Jones D, Chinnawamy R, Tan Y, et al. Physiochemical properties of ready-to-eat breakfast cereals[J]. **Ceareal Foods World**, 2000, 45(4): 164-168.
- [8] Su C W. Effects of eggshell powder addition on the extrusion behaviour of rice[J]. **Journal of Food Engineering**, 2007, 79: 607-612.
- [9] Zhu L J, Radhiah S, Normell J M S, et al. Mechanical and microstructural properties of soy protein-high amylose corn starch extrudates in relation to physiochemical changes of starch during extrusion[J]. **Journal of Food Engineering**, 2010, 100: 232-238.
- [10] Stojceska V, Ainsworth P, Plunkett A. The effect of extrusion cooking using different water feed rates on the quality of ready-to-eat snakes made from food by-products[J]. **Food Chemistry**, 2009, 114:226-232.
- [11] Rutrada S, Susanne S E, Emmerich B, et al. Extrusion cooking properties of white and coloured rice varieties with different amylose content[J]. **Starch-Stärke**, 2010,03:1-9.
- [12] Ding Q B, Ainsworth P, Tucker G, et al. The effect of extrusion conditions on the physicochemical properties and sensory characteristics of rice-based expanded snacks[J]. **Journal of Food Engineering**, 2005, 66: 283-289.
- [13] Njoki P, Faller J F. Development of an extruded plantain/corn/soy weaning food[J]. **Int J Food Sci Technol**, 2001,36, 415-423.
- [14] Chinnawamy R, Hanna M A. Relationship between amylose content and extrusion-expansion properties of corn starches[J]. **Ceareal Chemitry**, 1988,65(2):138-142.
- [15] Brncic M, Tripalo B, Jezek D, et al. Effect of twin-screw extrusion parameters on mechanical hardness of direct-expanded extrudates[J]. **Sadhana**, 2006,31(5):527-536.
- [16] 王亮,周惠明,钱海峰. 挤压加工中原料成分变化对谷物早餐质构的影响[J]. 中国粮油学报.2007,22(2):16-20.
WANG Liang, ZHOU Hui-ming, QIAN Hai-feng. The effect of raw materials composition change on the texture of cereal breakfast during the extrusion processing[J]. **Journal of the Chinese Cereals and Oils Association**, 2007, 22(2):16-20.(in Chinese)
- [17] 任嘉嘉. 燕麦制粉及挤压膨化技术研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2008.