

甜玉米双酶酶解取汁工艺优化

Optimization of technological conditions for enzymatic
hydrolysis of sweet corn pulp

吕满霞 张 玲 林芷桑 王泽琪 黄晓翠 谢胡稀

LU Man-xia ZHANG Ling LIN Zhi-sang WANG Ze-qi HUANG Xiao-cui XIE Hu-xi

(广东石油化工学院环境与生物工程学院, 广东 茂名 525000)

(Faculty of Environmental and Biological Engineering, Guangdong University of
Petrochemical Technology, Maoming, Guangdong 525000, China)

摘要:以新鲜甜玉米为原料,中温 α -淀粉酶及糖化酶为催化剂,采用双酶法分段酶解制备甜玉米汁。以可溶性固形物含量为评价依据,先考察了液化过程中液料比、中温 α -淀粉酶用量、酶解温度和时间对酶解效果的影响,后考察了糖化过程中糖化酶的用量、糖化温度及时间对酶解效果的影响。在单因素试验基础上,通过正交试验优化了甜玉米双酶酶解取汁的最优工艺条件。结果显示最佳条件为:按照料液比为1:4(g/mL)制取甜玉米浆,中温 α -淀粉酶用量为0.35%,于55℃液化25min;糖化酶用量为0.15%,于55℃下糖化20min;最佳条件下制得的玉米汁可溶性固形物含量为3.90%。该方法具有操作简单、时间短,取汁效果好等优点,可在甜玉米饮料加工中推广和应用。

关键词:甜玉米; α -淀粉酶;糖化酶;酶解;糖化

Abstract: The sweet corn juice was prepared by using double enzymes method, i.e. catalyzed by medium temperature α -amylase and saccharifying enzyme. The soluble solid matter content was analyzed as the basis of evaluation. The liquefaction process was investigated in solid-liquid ratio, medium temperature α -amylase dosage, enzymatic hydrolysis temperature and time on the amylolysis effect, and then the effects of the amount of saccharifying enzyme, saccharification temperature and time on the enzyme solution were also studied. On the basis of single factor experiments, the optimum technological conditions of double enzyme hydrolysis for sweet corn were optimized by orthogonal experiment. The results showed that the sweet corn pulp could be produced best, using the solid-liquid ratio of 1:4 (g/mL) and liquefied at 55℃ for 25 min with 0.35% of medium temperature α -amyl-

ase, then saccharified for 20 min with 0.15% of saccharifying enzyme. The soluble solid matter content of the sweet corn juice prepared under the best condition was 3.90%. This method showed the advantages of simple operation, consuming short time, and effective juice extraction, etc., and it could be popularized and applied in the processing of sweet corn beverage.

Keywords: sweet corn; α -amylase; saccharifying enzyme; enzymolysis; saccharification

玉米作为世界三大重要粮食作物之一,约占世界粮食总产量的25%。中国是世界第二大玉米生产国,玉米的播种面积和总产量仅次于水稻,是中国重要的粮食、经济及饲料作物,也是农民收入中主要经济来源^[1]。甜玉米是近年来采用现代生物工程技术培育出的优良新品种,比普通玉米更具营养和风味,深受广大消费者青睐。其籽粒含60%以上的亚油酸,可减少胆固醇在血管中沉积,防止高血压、冠心病和心肌梗塞等疾病的发生;含有维生素A、维生素B₁和B₂、维生素C、多种矿物质及游离氨基酸等,易于人体消化吸收,还可防止皮肤色素沉着和先期发皱以及延缓衰老^[2]。

目前中国甜玉米加工规模逐步扩大,但仍以速冻玉米和玉米罐头为主。由于甜玉米加工技术和设备落后,品种单一,不能满足广阔的市场需求,亟待开发新技术和新产品^[3-4]。而西方和日本等发达国家非常重视果蔬饮料的开发,已率先将果蔬原料加工成饮料产品,充分利用了果蔬原料,并使果蔬饮料逐步发展成为果蔬加工的重要产业之一^[5]。虽然中国果蔬汁饮料工业起步较晚,但势头强劲,市场前景可观^[6-7],果汁饮料从单一品种到混合品种,逐步形成了以山楂、芒果、菠萝为代表的果肉类饮料,蔬菜汁也随着现代生物技术的发展逐步形成了以蔬菜汁、蔬菜浓浆、特种蔬菜饮料为主的加工产品^[8]。甜玉米作为蔬菜的一种,具有口感细腻、香味浓郁、酸甜可口并带有谷物清香等特点,

基金项目:2015年广东石油化工学院大学生创新创业校级培育项目
(编号:2015pyA019)

作者简介:吕满霞,女,广东石油化工学院在读本科生。

通信作者:张玲(1979—),女,广东石油化工学院副教授,硕士。

E-mail: mmzhl1130@126.com

收稿日期:2016-09-30

是开发饮料的良好资源^[9]。目前对于甜玉米取汁工艺的系统研究报道还比较少,利用酶技术辅助取汁的研究也相对较少,徐玉娟等^[9]研究了两种 α -淀粉酶对甜玉米果浆的液化效果,结果表明,S 型耐高温 α -淀粉酶的水解速度明显快于中温型 α -淀粉酶,在最佳条件下使用,可使甜玉米汁固形物含量接近 3.9%;李次力等^[10]为开发一种营养性甜玉米饮料,采用木瓜蛋白酶处理甜玉米糖化液,优化了木瓜蛋白酶作用的最佳工艺条件;邓开野等^[11]采用 α -淀粉酶(2 000 U/g 淀粉)、糖化酶对甜玉米浆进行分步水解,以感官评价分值为考察依据,直接采用正交试验优化了两种酶的最佳作用条件,结果表明 α -淀粉酶和糖化酶的用量、酶解时间和酶解温度分别为 0.175 g 和 0.4 mL、75 ℃ 和 60 ℃、85 min 和 3 h;陶兴无^[12]优化了 α -淀粉酶处理甜玉米浆的最佳工艺条件为酶用量 16 U/g 湿玉米粒、温度 70 ℃、自然 pH、酶解 60 min,甜玉米浆可溶性固形物由 1.5% 提高到 4.5%,还原糖 $\leq$ 1.5%。

基于淀粉糖化的一般原理,本试验设计采用 α -淀粉酶和糖化酶分步对甜玉米浆进行液化和糖化,并以可溶性固形物为评价依据,分别对液化和糖化过程进行了单因素和正交试验优化,确定了两种酶的最佳处理条件,制备了品质良好的玉米汁。研究结果可为甜玉米汁、甜玉米浓浆及速溶甜玉米粉等饮料的开发提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料及设备

1.1.1 原料及试剂

新鲜甜玉米:市售;
250 目绢布:上海志合过滤材料有限公司;
中温 α -淀粉酶(酶活为 1×10^4 U/g)、糖化酶(酶活为 1×10^5 U/g):江苏锐阳生物科技有限公司。

1.1.2 仪器及设备

数显恒温水浴锅:KW-1000DC 型,江苏金坛市亿通电子有限公司;
破壁料理机:JP03D-800 型,浙江苏泊尔股份有限公司;
电子天平:JA3003 型,上海舜宇恒平科学仪器有限公司;
数显折射仪:PAL-1 型,日本 Atago 公司。

1.2 试验方法

1.2.1 甜玉米汁制备工艺流程

新鲜甜玉米 $\rightarrow$ 去杂 $\rightarrow$ 清洗 $\rightarrow$ 脱粒 $\rightarrow$ 磨浆 $\rightarrow$ 液化 $\rightarrow$ 灭酶 $\rightarrow$ 糖化 $\rightarrow$ 灭酶 $\rightarrow$ 精滤 $\rightarrow$ 甜玉米汁

1.2.2 操作要点

- (1) 去杂清洗:将新鲜甜玉米去皮,用自来水清洗 3 次去除穗须。
- (2) 脱粒、磨浆:清洗后的甜玉米脱粒;将玉米粒按一定料液比加入清水,经榨汁机磨浆,得到甜玉米浆。
- (3) 液化、灭酶、糖化、灭酶:取 100 mL 甜玉米浆,加入适量的中温 α -淀粉酶,在合适温度下进行液化处理,液化完成后升温至 100 ℃ 保温 10 min 进行灭酶。以最佳液化条件下制备的液化甜玉米浆为原料,加入一定量的糖化酶在适宜

温度下糖化一定时间后升温至 100 ℃ 保温 10 min 灭酶。

(4) 精滤:糖化灭酶后,用 250 目绢布过滤除渣,得到甜玉米汁。

1.2.3 料液比对原料浸出量的影响 取 100 g 甜玉米原料,加入一定体积的蒸馏水,按料液比 1:2,1:3,1:4,1:5,1:6,1:7(g/mL)进行磨浆,在 100 ℃ 加热 15 min,过滤,冷却至室温,测定滤液的质量及可溶性固形物含量,计算果浆中可溶性固形物提取率^[13],比较料液比对原料浸出量的影响。

1.2.4 甜玉米浆液化条件单因素试验

(1) 酶添加量对甜玉米浆酶解效果的影响:取 100 mL 甜玉米浆 8 份,按质量比分别添加 0.00%,0.05%,0.10%,0.15%,0.20%,0.25%,0.30%,0.35%的中温 α -淀粉酶,在 65 ℃ 下酶解 60 min,测定可溶性固形物含量,比较酶添加量对酶解效果的影响。

(2) 酶解温度对甜玉米浆酶解效果的影响:取 100 mL 甜玉米浆 6 份,添加 0.05%中温 α -淀粉酶,分别在 45,50,55,60,65,70 ℃ 下液化 60 min,测定可溶性固形物含量,比较酶解温度对酶解效果的影响。

(3) 酶解时间对甜玉米浆酶解效果的影响:取 100 mL 甜玉米浆 7 份,添加 0.05%中温 α -淀粉酶,在 55 ℃ 下分别酶解 0,10,20,25,30,60,90 min,测定可溶性固形物含量,比较时间对酶解效果的影响。

1.2.5 甜玉米浆液化工艺的优化 根据单因素试验结果,以酶添加量、酶解温度、酶解时间为因素,采用 $L_9(3^3)$ 做正交试验,确定最佳液化工艺条件。

1.2.6 甜玉米浆糖化工艺单因素试验 以最佳液化条件下制得的甜玉米浆为原料,进行糖化工艺条件研究。

(1) 糖化酶添加量对甜玉米浆酶解效果的影响:取液化后的甜玉米浆 6 份,每份 100 mL,分别添加 0.00%,0.05%,0.10%,0.15%,0.20%,0.25%的糖化酶,在 60 ℃ 下糖化 3 h,测定可溶性固形物含量,比较酶添加量对酶解效果的影响。

(2) 糖化温度对甜玉米浆酶解效果的影响:取液化后的甜玉米浆 8 份,每份 100 mL,添加 0.10%糖化酶,分别在 30,35,40,45,50,55,60,65 ℃ 下糖化 3 h,测定可溶性固形物含量,比较酶解温度对酶解效果的影响。

(3) 糖化时间对甜玉米浆酶解效果的影响:取液化后的甜玉米浆 8 份,每份 100 mL,添加 0.10%糖化酶,在 55 ℃ 下分别糖化 0,10,15,20,25,30,60,90 min,测定可溶性固形物含量,比较时间对酶解效果的影响。

1.2.7 甜玉米浆糖化工艺的优化 根据单因素试验结果,以酶添加量、酶解温度、酶解时间为因素,采用 $L_9(3^3)$ 做正交试验,以确定最佳糖化工艺条件。

1.2.8 可溶性固形物含量的测定及提取率的计算

(1) 可溶性固形物含量:采用手持 PAL-1 迷你数显折射仪测定。

(2) 可溶性固形物提取率:按式(1)进行计算:

$$X = \frac{D \times m}{M}, \tag{1}$$

式中:

X ——甜玉米的可溶性固形物提取率,%;

D ——滤液中的可溶性固形物含量,%;

m ——滤液的质量,g;

M ——打浆前的甜玉米质量,g。

2 结果与分析

2.1 甜玉米打浆料液比的确定

由图 1 可知,随着加水量的增加,原料中可溶性固形物转移到液相中随之增多,提取率就越大。当料液比为 1:4(g/mL) 时,果浆中可溶性固形物提取率达到最大值。加水量继续增加后,原料中可溶性固形物提取率随之减少。由于加水量太小,会使磨出的浆过于粘稠,不利于后续酶解过程中酶的分散与作用。综合经济成本因素考虑,选择料液比 1:4(g/mL) 为宜。

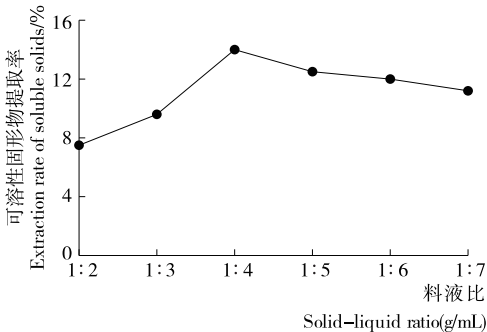


图 1 甜玉米磨浆时料液比对原料浸出量的影响
Figure 1 Effect of the solid-liquid ratio on the raw material leaching amount when sweet corns are pulped ($n=3$)

2.2 中温 α -淀粉酶液化条件的优化

2.2.1 酶添加量对甜玉米浆酶解效果的影响 由图 2 可知,当酶添加量从 0.00% 增至 0.05% 时,液相可溶性固形物含量由 2.20% 增加到 3.05%,这说明中温 α -淀粉酶能较显著地提高甜玉米浆品质。当酶添加量增加到 0.30% 时,可溶性固形物含量趋于稳定。这可能是酶的催化效果达到饱和。因此,选择中温 α -淀粉酶添加量为 0.30% 为宜。

2.2.2 酶解温度对甜玉米浆酶解效果的影响 由图 3 可知,可溶性固形物含量随酶解温度的升高而呈现先上升后下降

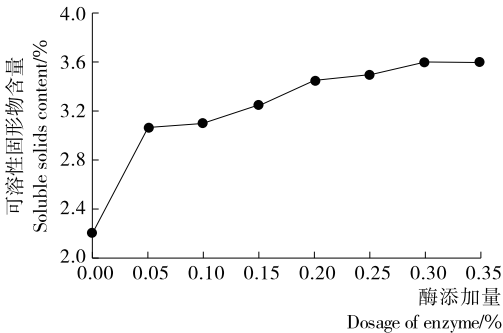


图 2 中温 α -淀粉酶添加量对甜玉米浆酶解效果的影响
Figure 2 Effect of medium temperature α -amylase dosage on the enzymolysis effect of sweet corn pulp ($n=3$)

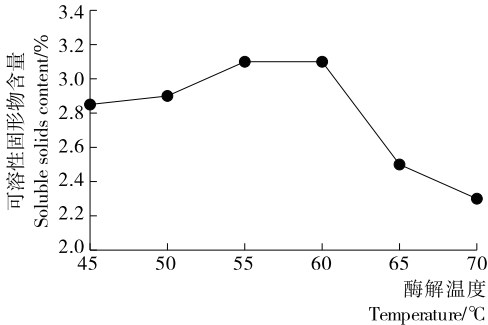


图 3 中温 α -淀粉酶酶解温度对甜玉米浆酶解效果的影响
Figure 3 Effect of temperature on the enzymolysis effect of sweet corn pulp ($n=3$)

的趋势,当酶解温度为 55 $^{\circ}\text{C}$ 时达到最大值。这是因为酶在较低温度下催化活力较低,在高温下易失活。因此,选择酶解温度 55 $^{\circ}\text{C}$ 为宜。

2.2.3 酶解时间对甜玉米浆酶解效果的影响 由图 4 可知,在 0~30 min 内,随着酶解时间的延长,甜玉米浆液中淀粉逐渐水解,可溶性固性含量快速上升,30 min 时达到最大值 3.40%,说明酶解 30 min 后浆液中的淀粉基本液化完全。因此,酶解时间选择 30 min 为宜。

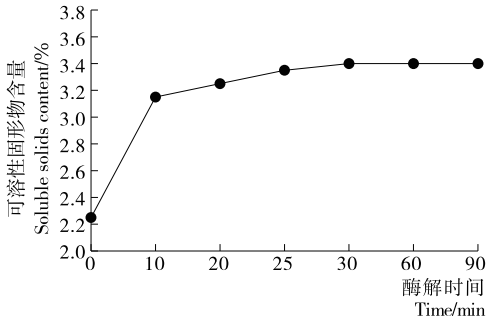


图 4 中温 α -淀粉酶酶解时间对甜玉米浆酶解效果的影响
Figure 4 Effect of time on the enzymolysis of sweet corn pulp ($n=3$)

2.2.4 中温 α -淀粉酶液化条件的正交优化 正交试验因素水平表见表 1,正交结果见表 2。

采用直观分析法,根据表 2 的结果来确定最优组合,可知,3 个因素影响程度关系为:酶用量>酶解温度>酶解时间;甜玉米浆最佳液化条件为: $A_3 B_2 C_1$,即中温 α -淀粉酶用量 0.35%、酶解温度 55 $^{\circ}\text{C}$ 、酶解时间 25 min,但是这一组合在上述的 9 组试验中从未出现过。进行 3 次验证实验,向甜玉米浆中加入 0.35% 的中温 α -淀粉酶,在 55 $^{\circ}\text{C}$ 下酶解 25 min,得到的甜玉米汁的可溶性固形物的含量为 3.75%,优于已出现的 9 组试验结果,说明实验结果与正交试验设计

表 1 液化条件正交试验因素水平表
Table 1 Factors and levels of the orthogonal test

水平	A 酶添加量/%	B 酶解温度/ $^{\circ}\text{C}$	C 酶解时间/min
1	0.25	50	25
2	0.30	55	30
3	0.35	60	35

表 2 液化条件正交试验结果

Table 2 Results of orthogonal test ($n=3$)

试验号	A	B	C	可溶性固形物含量/%
1	1	1	1	3.35
2	1	2	2	3.55
3	1	3	3	3.55
4	2	1	2	3.50
5	2	2	3	3.65
6	2	3	1	3.55
7	3	1	3	3.70
8	3	2	1	3.70
9	3	3	2	3.70
k_1	3.48	3.52	3.64	
k_2	3.57	3.63	3.58	
k_3	3.70	3.60	3.63	
R	0.22	0.11	0.06	

结果拟合良好。

2.3 糖化酶糖化条件的优化

2.3.1 酶的添加量对甜玉米浆酶解效果的影响 由图 5 可知,当糖化酶用量为 0.05%时,液相中可溶性固性含量从 3.20%增加到 3.40%,说明糖化酶能提高汁液品质。随着酶用量逐渐增加,液相中可溶相固形物含量也逐渐增加,当用量增加至 0.15%时达到最大值 3.75%,而后趋于稳定,故糖化酶最适添加量选择 0.15%。

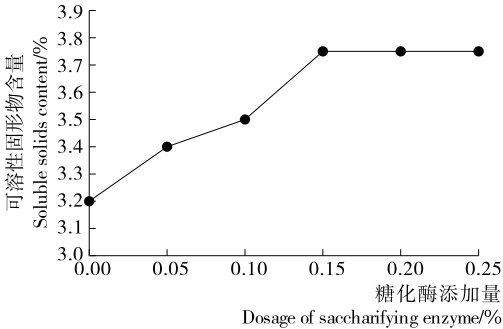


图 5 糖化酶添加量对甜玉米浆酶解效果的影响
Figure 5 Effect of saccharifying enzyme adding dosage on the enzymolysis of sweet corn pulp ($n=3$)

2.3.2 酶解温度对甜玉米浆酶解效果的影响 由图 6 可知,甜玉米汁中可溶性固形物含量随温度的升高而先升后降,50℃时达到最大值 3.70%。这可能是糖化酶的催化活力在温度较低时受到抑制作用而呈现低活性状态,在较高温度时处于失活状态。因此,酶解温度选 50℃为宜。

2.3.3 酶解时间对甜玉米浆酶解效果的影响 由图 7 可知,在 0~20 min 内,随着糖化时间的延长,甜玉米浆逐渐水解,可溶性固形物逐渐增大。20 min 后趋于稳定,此时值为 3.70%。因此,酶解时间选 20 min 较适合。

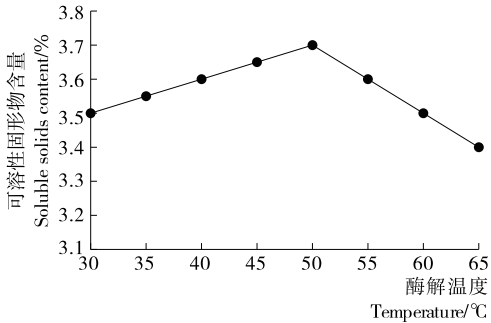


图 6 糖化酶酶解温度对甜玉米浆酶解效果的影响
Figure 6 Effect of temperature on the enzymolysis of sweet corn pulp ($n=3$)

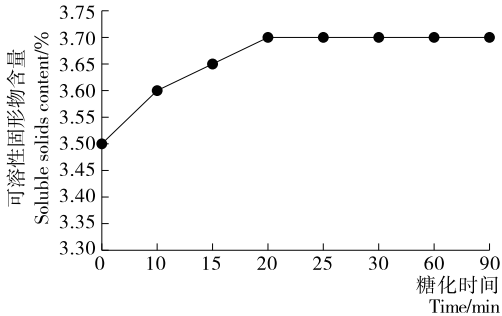


图 7 糖化酶酶解时间对甜玉米浆酶解效果的影响
Figure 7 Effect of time on the enzymolysis of sweet corn pulp ($n=3$)

2.2.4 糖化酶糖化条件的正交优化 正交试验因素水平表见表 3,正交结果见表 4。

表 3 糖化条件的正交试验因素水平表

Table 3 Factors and levels of the orthogonal test

水平	A 酶添加量/%	B 糖化温度/℃	C 糖化时间/min
1	0.10	45	15
2	0.15	50	20
3	0.20	55	25

表 4 糖化条件的正交试验结果

Table 4 Results of orthogonal test ($n=3$)

试验号	A	B	C	可溶性固形物含量/%
1	1	1	1	3.50
2	1	2	2	3.75
3	1	3	3	3.65
4	2	1	2	3.80
5	2	2	3	3.75
6	2	3	1	3.80
7	3	1	3	3.75
8	3	2	1	3.70
9	3	3	2	3.80
k_1	3.63	3.68	3.67	
k_2	3.78	3.73	3.78	
k_3	3.75	3.75	3.72	
R	0.15	0.07	0.11	

由表 4 可知,因素影响的主次关系是:酶用量>酶解时间>酶解温度;最优组合是 A₂ B₃ C₂,即糖化酶酶用量 0.15%,酶解温度 55 ℃和酶解时间 20 min,但是这一组合在上述的 9 组试验中从未出现过。进行 3 次验证实验,甜玉米浆经液化后,再添加 0.15%的糖化酶,在 55 ℃下糖化 20 min,所得到的甜玉米汁中的可溶性固形物的含量为 3.90%,结果优于已出现的 9 组试验结果,说明本试验优化的条件可靠。

3 结论

通过单因素试验和正交试验筛选出甜玉米浆最佳酶解条件为:中温 α-淀粉酶酶用量 0.35%,在 55 ℃条件下液化 25 min,再在 55 ℃下添加 0.15%的糖化酶,糖化 20 min,此条件下制得的甜玉米汁可溶性固形物含量可达 3.90%。该试验方法简单易操作,干扰因素较少,所用设备和试剂简单,重复性较好,可为甜玉米进一步加工提供试验依据。但本研究仅采用可溶性固形物单一指标考察酶解效果,且所用淀粉酶在品种上也较为单一,后续将进一步比较不同种类、品牌的淀粉酶的适用性,为甜玉米深加工提供更可靠更全面的数据结果。

参考文献

[1] 王孝华, 曹祖波. 我国玉米生产现状及发展策略[J]. 农业科技通

(上接第 103 页)

(3) 制冷机构是该机器的重要机构,试验过程中,制冷速率能否紧跟打印速率决定了冰激凌的成型质量。该机器还需要在制冷系统方面进行优化,该系统设计是一种通用设计,可以移植到其他性质类似的流态食品的 3D 打印设备中,推进 3D 打印技术在食品行业的发展。

参考文献

[1] 朱艳青. 3D 打印技术发展现状[J]. 制造技术与机床, 2015(12): 50-57.
[2] EVANS B. 解析 3D 打印机[M]. 程晨, 译. 北京: 北京工业出版社, 2014: 1-3.
[3] GIBOSN L, ROSEN D W, STUCKER B. Additive manufacturing technologies[M]. Berlin: Springer Science, Business Media, 2010: 2-5.

(上接第 187 页)

[7] 王荣荣, 王家东, 周丽萍, 等. 豆腐凝固剂的研究进展[J]. 畜牧兽医科技信息, 2006(1): 78-79.
[8] 赵贵丽, 罗爱平, 宋志敏, 等. 乳酸菌在大豆黄浆水中发酵条件的优化[J]. 食品与机械, 2014, 30(2): 216-218.
[9] 尹乐斌, 张臣飞, 孙菁, 等. 一株产细菌素乳酸菌的分离、鉴定及生物学特性研究[J]. 食品与机械, 2016, 32(3): 12-15, 64.
[10] 宋俊梅, 曲静然, 李燕, 等. 脆豆腐老浆液点浆机理的研究[J]. 食品科技, 2002(4): 14-15.
[11] NAVEED Ahmad, 陈则华, 李理, 等. 乳酸菌发酵制备大豆奶酪豆坯的工艺研究(英文)[J]. 食品与机械, 2008, 24(6): 121-126.
[12] 管有根. 酸浆水点浆工艺生产塘坞豆制品[J]. 中国酿造, 2007

讯, 2015(5): 5-6.
[2] 杨婧曦, 于海峰. 酶法制备白果甜玉米澄清饮料的研究[J]. 食品科技, 2013(9): 76-78.
[3] 刘晓涛. 甜玉米的营养价值及其加工现状的研究[J]. 技术装备, 2009(3): 47-48.
[4] 刘蔚楠, 万忠, 甘阳英, 等. 2015 年广东甜玉米产业发展形势与对策建议[J]. 广东农业科学, 2016(3): 12-16.
[5] 诚夫. 世界饮料发展趋势[J]. 江西食品工业, 2002(3): 48.
[6] 2012 年全国饮料总产量为 13 024.01 万吨[J]. 饮料工业, 2013, 16(2): 10.
[7] 2012 年 1-12 月全国饮料分月总产量及与上年同比[J]. 饮料工业, 2013, 16(3): 50-52.
[8] 谢红涛, 余瑞婷, 赵瑞娟, 等. 果蔬汁加工技术进展[J]. 农产品加工学刊, 2010, 1(1): 76-80.
[9] 徐玉娟, 肖更生, 李升锋, 等. 甜玉米汁酶解工艺条件的研究[J]. 广东农业科学, 2006(11): 48-50.
[10] 李次力, 缪铨. 酶解甜玉米糖化液开发营养性饮料的研究[J]. 食品科学, 2005, 26(5): 175-178.
[11] 邓开野, 麦伟浩. 甜玉米饮料的加工工艺研究[J]. 广西轻工业, 2009(2): 1-2.
[12] 陶兴无. α-淀粉酶在甜玉米饮料生产中的应用研究[J]. 湖北工业大学学报, 2006, 21(2): 17-20.
[13] 罗映英, 宋小峰, 王凤仙, 等. 甜玉米饮料的工艺配方优化[J]. 农产品工程, 2015(7): 55-57.

[4] 李光玲. 食品 3D 打印的发展及挑战[J]. 食品与机械, 2015, 31(1): 231-234.
[5] 陈妮. 3D 打印技术在食品行业的研究应用和发展前景[J]. 农产品加工: 学刊, 2014(8): 57-76.
[6] 王志宏. 冰激凌体验的“立体化”升级[J]. 销售与市场: 管理版, 2012(7): 92-93.
[7] 张爽华. 基于 Pro/E 的食品加工容器成型模具设计[J]. 装备制造技术, 2010(10): 172-174.
[8] SOLLMANN K S. Dynamic modeling of a two-axis, parallel, h-frame-type xy positioning system[J]. National Geographic, 2012(6): 132-156.
[9] 阴贺生. 基于三臂并联结构的桌面 3D 打印机[J]. 机械, 2015, 42(2): 36-40.
[10] 刘梅森. 4 种稳定剂对软冰淇淋品质协同作用的研究[J]. 中国乳业工程, 2005(12): 19-21.

(5): 69-70.
[13] 管立军, 程永强, 穆慧玲, 等. 乳酸菌发酵豆浆制作豆腐得率的研究[J]. 食品科技, 2009, 34(3): 36-41.
[14] 张影, 刘志明, 刘卫, 等. 酸浆豆腐的工艺研究[J]. 农产品加工: 学刊, 2014(2): 21-23.
[15] 郑明静, 周美龄, 刘华丰, 等. 山矾豆腐的加工工艺研究[J]. 食品研究与开发, 2015, 36(21): 128-132.
[16] CAI Tiande, CHANG K C. Processing effect on soybean storage proteins and their relationship with tofu quality[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1999, 47(2): 720-727.
[17] 于寒松, 陈今朝, 张伟, 等. 两种工艺生产豆腐的营养成分与品质特性的关系[J]. 食品科学, 2015, 36(19): 49-54.
[18] 中华人民共和国卫生部. GB 5009.5—2010 食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2010.