

冷冻工艺对无铝红薯粉条品质的影响

范会平^{1,2}, 李瑞¹, 王娜¹, 杨海龙¹, 赵天学³, 李宁¹, 艾志录^{1,2*}

1(河南农业大学 食品科学技术学院, 河南 郑州, 450002) 2(河南省冷链食品工程技术研究中心, 河南 郑州, 450002)

3(河南天豫薯业股份有限公司, 河南 周口, 477150)

摘 要 对不同冷冻工艺(时间变量)生产出的无铝红薯粉条进行质构和断条率的测定,通过综合加权法评定分析,以筛选出老化、冻结和冻藏阶段的最优时间。正交优化试验结果表明:3个因素中老化时间的影响最大;当老化时间12 h、冻结时间10 h、冻藏时间8 h时,无铝红薯粉条的品质最佳。

关键词 无铝红薯粉条;冷冻工艺;品质

粉条又叫做粉条丝、冬粉等,是我国一种常见的传统食品,在我国已有1 400年的历史^[1]。红薯粉条通常以红薯淀粉为原料加工而成^[2]。传统的粉条工艺流程如下^[3]:淀粉→制芡→调粉团→漏粉→煮熟→冷却→冷冻→理丝干燥→成品。早期的粉条粉丝加工中,为了提高产品的品质,往往在配方中添加明矾以提高产品品质,然而铝盐的摄入会影响人的神经系统。近年来,关于无铝粉条粉丝的研究引起了学者的重视^[4-5]。市场上的无铝粉条一般存在断条率高、易浑汤、缺乏韧性等问题,相关学者一般通过寻找明矾替代物,来提高无铝粉条粉丝的品质^[4-7]。汤楚宙等^[8]通过冷却、老化、冻结和冻藏4个阶段的冷冻处理生产出的无铝粉条,内在质量和外观品质得到了明显改善或提高。红薯粉条生产企业在不加明矾的情况下增加冷冻工艺,第一阶段是将粉条从入库温度降到0℃,以除去粉条中的热量,为粉条老化创造条件;第二阶段将粉条从0℃降至-2℃,为粉条外表面“穿冰衣”,加速粉条中淀粉的老化,增强粉条的韧性。老化是糊化淀粉表现出的一个重要性质。糊化淀粉称为“ α -化”淀粉,在适当的温度和含水量条件下,分子又自动排列成序,形成致密、高度晶化的不溶解的淀粉分子微粒;第三阶段是将粉条温度从-2℃降至-8℃,此过程可以降低或消除粉条的黏性,并降低其含水量;第四阶段温度从-8℃降至-18℃,可以使粉条进一步脱水,使表面更光滑,内部更透明。实践证明,经冷冻处理的无铝粉条,其品质得到明显

改善。

冷冻是采用冷冻处理法代替明矾加工无铝红薯粉条过程中的关键工序^[9],而冷冻过程中诸参数的选择对红薯粉条的质量和经济性指标有着极其重要的影响^[10]。本实验以冷冻工艺中各阶段冷冻时间为变量,通过对无铝红薯粉条进行质构品质、断条率的分析,研究老化时间、冻结时间和冻藏时间的最佳参数,对企业冷冻无铝红薯粉条的生产加工具有重要的指导意义。

1 材料与方法

1.1 主要实验材料

红薯淀粉,由河南天豫薯业股份有限公司提供。

1.2 主要仪器与设备

粉条加工生产线,河南天豫薯业股份有限公司定制;KF11215-2粉条烘干机,河南天豫薯业股份有限公司定制;TA-XA PLUS型质构仪,英国Stable Micro System公司。

1.3 实验方法

1.3.1 无铝红薯粉条加工工艺

淀粉投料→打芡和面→抽真空→漏粉成型→蒸煮糊化→水冷却→切断挂杆→冷冻→解冻→干燥→包装

1.3.2 单因素试验

1.3.2.1 老化时间对粉条品质的影响

固定冻结时间为8 h,冻藏时间为8 h,老化时间分别为4、6、8、10和12 h,考察粉条老化时间对红薯粉条品质的影响。

1.3.2.2 冻结时间对粉条品质的影响

固定老化时间和冻藏时间分别为12、8 h,将冻结时间分别设为2、4、6、8和10 h,考察粉条冻结时间对

第一作者:博士,副教授(艾志录教授为通讯作者, E-mail: zhila@163.com)。

基金项目:河南省教育厅科学技术研究重点项目(14A550004)

收稿日期:2015-09-22, 改回日期:2016-02-01

红薯粉条品质的影响。

1.3.2.3 冻藏时间对粉条品质的影响

固定老化时间为12 h,冻结时间为8 h,将冻藏时间分别设定为2、4、6、8和10 h,考察粉条冻结时间对红薯粉条品质的影响。

冷冻好的粉条直接随企业生产线进行解冻、干燥和包装工序,即可得到样品。每组实验做3个平行样品。

1.3.3 粉条质构的测定

1.3.3.1 粉条 TPA 的测定

选取20根无裂纹、无弯曲、粗细均匀、长度相同的粉条,在500 mL沸水中进行煮制7 min至无白心,将煮熟的粉条经冷蒸馏水浸泡冷却,然后迅速用P50探头进行TPA测试。测试时先用吸水纸吸去表面水分,取用5根粉条并排放于测试台上,中间要有一定的间隔。每个试样做7次平行实验。结果处理采用去掉最大值和最小值,求平均值的方法。参数设置为:测定模式:压缩模式;测试前速度:4.00 mm/sec;运行速度:1.00 mm/sec;测试后速度:1.00 mm/sec;目标模式:应力;压缩量:70%;时间:2.00 sec;触发类型:自动;触发力:5.0 g。

1.3.3.2 粉条剪切试验

参照AACC 16-50标准方法进行。实验采用LKBF型探头。粉条的煮制同1.3.3.1。取5根粉条并排放于测试台上,中间留有一定的空隙。每个试样做7次平行实验,结果处理采用去掉最大值和最小值,求平均值的方法。参数设置为:测试模式:压缩模式;测试前速度:2.00 mm/sec;测试速度:0.17 mm/sec;测试后速度:10.00 mm/sec;目标模式:应力;压缩量:100%;触发类型:手动。

1.3.3.3 粉条拉伸试验

实验采用SPR型探头,粉条的煮制同1.3.3.1,每次将一根粉条固定在2个平行的摩擦轮之间,上面的轮子匀速的向上拉伸粉条(在拉伸的过程中粉条不能够松动),直至粉条断裂。每个试样重复5次实验,结果处理采用去掉最大值和最小值,取平均值。参数设置为:测试模式:拉伸模式;测试前速度:1.00 mm/sec;测试速度:1.00 mm/sec;测试后速度:2.00 mm/sec;距离:70 mm;触发类型:自动;触发力:5.0 g。

1.3.4 试验指标分析

1.3.4.1 综合加权法

粉条的断条率、剪切形变、剪切应力、拉伸强度、拉伸形变与其感官评定中的硬度、弹韧性有着很好的

相关性,与感官总评分也显著相关^[11]。粉条的品质评价可以通过仪器检测来减小感官评定中由于主观因素造成的误差^[12]。在谭洪卓对粉条品质评价方法^[11]的基础上稍微改进,本试验进行综合加权评分时,采用剪切力、咀嚼性、拉伸力、拉伸距离和断条率5项指标各占20分,总分100分,用此5项指标替代感官的硬度、弹韧性来评价粉条品质的优劣。

1.3.4.2 断条率的测定

耐煮性测定是将长10 cm的粉条样品20根,在500 mL蒸馏水中煮沸30 min,以最后的断条数表示。重复测定3次。

$$\text{断条率}/\% = \frac{\text{断条数}}{\text{原样品条数}} \times 100$$

1.4 数据处理

试验数据采用Excel和SPSS16.0进行处理。

2 结果与分析

2.1 老化时间、冻结时间、冻藏时间对红薯粉条质构结果的影响

由表1、图1和图2可知,老化时间主要影响了粉条的硬度、黏结性、黏滞性、咀嚼性和回复性。除黏附性和弹性外,粉条的硬度、黏结性、黏滞性和咀嚼性均与老化时间呈极显著正相关($P < 0.01$),回复性与老化时间呈极显著负相关($P < 0.01$)。老化过程中剪切应力随着时间增加呈上升趋势,拉伸性能呈现先增加后减小趋势。老化时间越长,剪切应力越大,红薯粉条的硬度越强,耐咀嚼性也越强,品质越好。其原因可能是冷冻老化使粉条内淀粉微晶束发生重排,从而增强了粉条的凝胶强度。在老化开始阶段,随着时间的延长微晶束逐渐增多,粉条表面的凝胶网络由疏变密,由弱变强,而内部的结晶区相对较少,凝胶强度较弱。但当老化时间超过10 h时,粉条内部的微晶束逐渐增多后,内部凝胶网络由弱到强,粉条表面的强度不能抵抗拉伸过程中粉条内部产生的应力,导致质构测定的各指标下降。因此老化时间10 h时,红薯粉条的质构较好。

冻结时间主要影响了粉条的硬度、弹性、黏结性、黏滞性和咀嚼性。由表1中结果可以看出,粉条的硬度、弹性、黏滞性和咀嚼性均与冻结时间呈极显著正相关($P < 0.01$),而黏结性与冻结时间呈极显著负相关($P < 0.01$)。冻结过程中剪切应力能呈先上升后下降趋势,在冻结8 h达到最大值,拉伸性能呈小幅上升趋势。这可能是随着粉条冻结时间的延长,淀粉

表 1 单因素 TPA 结果
Table 1 The result of TPA Single factor test

时间/h	硬度/g	黏附性/(g·s ⁻¹)	弹性	黏结性	黏滞性	咀嚼性	回复性
A							
4	3693.34 ^c	-19.98 ^a	0.96 ^{ab}	0.89 ^a	3267.02 ^c	3150.35 ^d	0.74 ^a
6	5806.96 ^b	-23.59 ^a	0.96 ^{ab}	0.83 ^b	4824.37 ^b	4653.56 ^c	0.64 ^b
8	6479.04 ^b	-24.70 ^a	0.97 ^a	0.90 ^a	5829.41 ^a	5647.37 ^b	0.73 ^a
10	7226.49 ^a	-22.58 ^a	0.96 ^{ab}	0.87 ^a	6298.04 ^a	6017.87 ^{ab}	0.68 ^b
12	6478.63 ^b	-27.13 ^a	0.95 ^b	0.88 ^a	5716.33 ^a	5428.80 ^a	0.68 ^b
B							
2	5212.45 ^c	-44.39 ^{ab}	0.94 ^c	0.90 ^a	4 677.94 ^c	4 400.68 ^c	0.74 ^a
4	6 571.26 ^b	-26.79 ^{ab}	0.97 ^a	0.90 ^a	6 108.78 ^b	5 917.12 ^b	0.69 ^a
6	6 527.69 ^b	-27.16 ^a	0.96 ^a	0.86 ^b	5 579.24 ^{bc}	5 366.96 ^{bc}	0.68 ^a
8	7 061.30 ^b	-36.65 ^{ab}	0.96 ^a	0.87 ^{ab}	6 161.79 ^b	5 939.15 ^b	0.68 ^a
10	8 636.12 ^a	-49.61 ^b	0.95 ^b	0.86 ^b	7 390.67 ^a	7 007.82 ^a	0.69 ^a
C							
2	8 081.97 ^a	-25.66 ^b	0.96 ^b	0.80 ^c	6 422.49 ^a	6174.59 ^a	0.59 ^b
4	6 905.57 ^b	-32.61 ^b	0.90 ^a	0.84 ^b	5 810.45 ^b	5 256.23 ^a	0.69 ^a
6	7 443.34 ^{ab}	-34.86 ^b	0.97 ^b	0.85 ^a	6 570.70 ^a	6 360.23 ^a	0.69 ^b
8	7 662.19 ^{ab}	-39.41 ^b	0.96 ^b	0.85 ^b	6 529.32 ^a	6 248.41 ^a	0.67 ^b
10	8 064.05 ^a	-61.31 ^a	0.9 ^{ab}	0.87 ^{ab}	6 967.26 ^a	6 641.49 ^a	0.76 ^b

注:A表示老化时间,B表示冻结时间,C表示冻藏时间,表2、表3同;同列中不同字母表示差异性显著(P<0.05)。

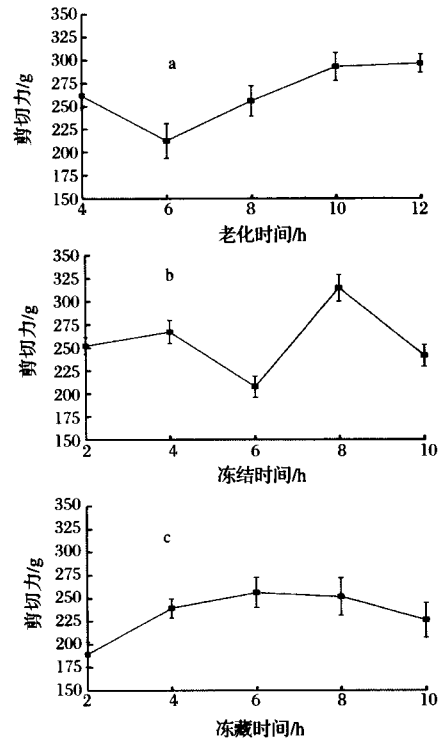


图 1 老化时间(a)、冻结时间(b)、冻藏时间(c)对剪切结果的影响

Fig. 1 Influence of aging time,frozen time and frozen storage time on shear results

分子的结合水逐渐析出,冷冻使粉条表面的水分结冰,使得粉条快速脱水。由于结冰时的体积膨胀对粉条产生了挤压,使得粉条中的淀粉颗粒更加致密和淀粉分子结构扭曲,从而改善了粉条的口感,煮制后食用更加筋道。因此冻结时间8 h时,红薯粉条的口感较好,咀嚼性较强。

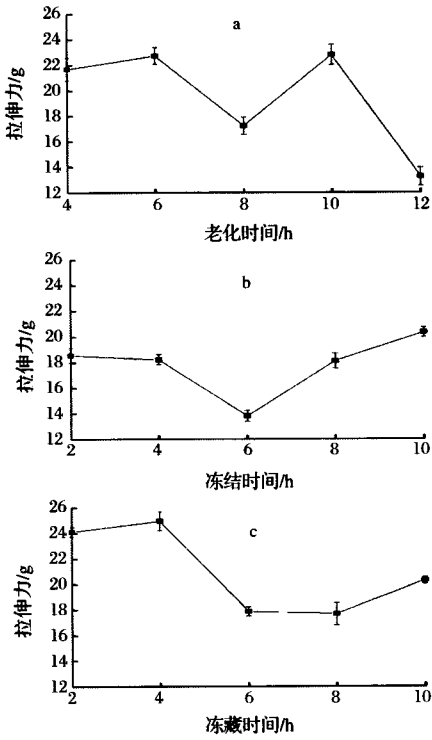


图 2 老化时间(a)、冻结时间(b)、冻藏时间(c)对粉条拉伸结果的影响

Fig. 2 Influence of aging time,frozen time and frozen storage time on tensile results

冻藏时间主要影响了粉条的黏附性、黏结性、黏滞性和回复性。除硬度和咀嚼性外,粉条的黏附性、黏结性、黏滞性和回复性均与冻藏时间呈极显著正相关(P<0.01),弹性与冻藏时间呈显著负相关(P<0.05)。对粉条剪切和拉伸品质的影响,剪切应力先上升后下降,拉伸应力先下降后上升,剪切应力和弹性随着冷冻时

间的延长都有所改善,但是影响不显著。这说明粉条的质构指标在适当的冷冻范围内会有所提高,但提高不大^[13]。因此冻藏时间 6 h 时,红薯粉条的弹性和回复性较好,韧性较强,总体品质较好。

2.2 老化时间、冻结时间、冻藏时间对红薯粉条综合加权评分的影响

不同因素对红薯粉条加权实验结果见表 2。

由综合加权评分分析可知,老化阶段最优时间为 10 h,冻结阶段最优时间为 8 h,冻藏阶段最优时间为 6 h。这与质构测定的单因素实验结果一致。

2.3 冷冻工艺正交优化试验

在上述单因素实验基础上,采用 $L_9(3^3)$ 三因素三水平正交实验如表 3,综合考察老化时间(8、10、12 h)、冻结时间(6、8、10 h)、冻藏时间(4、6、8 h)对红薯粉条品质的影响。实验结果见表 4、表 5 和图 3。

从表 4、表 5 和图 3 中可以看出,3 个时间因素中,对红薯粉条冷冻效果影响最大的因素是老化时间,其次为冻结时间,最后为冻藏时间。最优方案为 $A_3B_3C_3$,即老化时间为 12 h,冻结时间为 10 h,冻藏时间为 8 h。

由于正交试验得出的最优方案不在设计的 9 组正交试验中,为了进一步验证结果的准确性,对 $A_3B_3C_3$ 组合进行验证实验,验证结果和最优工艺时粉条的质构和综合加权结果见表 6。

表 2 单因素综合加权结果

Table 2 The results of single factor comprehensive weighted

时间/ h	剪切力/ g	咀嚼性	拉伸力/ g	拉伸距离/ mm	断条率/ %	加权评分
A						
4	261.57	19.47	21.69	-23.70	0	74.98
6	212.39	15.87	22.74	-39.98	5	77.62
8	255.88	21.45	16.17	-38.20	5	78.39
10	293.37	23.80	22.83	-38.08	5	88.29
12	296.82	24.14	13.24	-27.62	5	75.72
B						
2	252.09	20.86	18.56	-42.90	0	78.95
4	267.15	22.59	18.23	-36.26	0	78.15
6	267.69	20.83	18.82	-37.53	0	77.77
8	314.46	22.48	18.11	-43.41	5	83.89
10	241.37	18.93	20.35	-47.09	0	80.24
C						
2	189.10	15	24.10	-45.53	5	76.12
4	256.36	17.21	17.89	-44.07	5	77.84
6	239.33	17.71	17.94	-49.46	5	79.55
8	251.94	17.54	17.69	-41.15	5	76.31
10	226.51	17.23	20.32	-38.74	0	76.18

表 3 冷冻工艺试验因素水平表

Table 3 Factors and levels of freezing process test table

水平	A(老化时间/h)	B(冻结时间/h)	C(冻藏时间/h)
1	8	6	4
2	10	8	6
3	12	10	8

表 4 冷冻工艺正交试验综合加权结果分析

Table 4 Comprehensive weighted result analysis of orthogonal test for freezing process

序号	老化时间	冻结时间	冻藏时间	剪切力/g	咀嚼性	拉伸力/g	拉伸 距离/mm	断条率/ %	加权评分
1	1	1	1	345.11	26.41	27.97	26.81	10	61.81
2	1	2	2	367.19	30.07	22.03	43.70	0	68.42
3	1	3	3	421.97	30.3	32.79	48.35	5	80.25
4	2	1	2	531.01	37.13	25.60	44.14	0	82.39
5	2	2	3	392.73	28.45	27.51	54.66	10	77.05
6	2	3	1	526.35	36.17	29.8	41.46	5	83.27
7	3	1	3	466.53	29.59	32.30	50.66	5	82.40
8	3	2	1	386.35	25.68	37.79	54.96	0	82.18
9	3	3	2	481.75	36.79	29.57	44.11	10	82.76
水平 1	70.16	75.54	75.75						
水平 2	80.90	75.88	77.86						
水平 3	82.44	82.09	79.90						
Delta	12.28	6.55	4.15						
排序	老化 > 冻结 > 冻藏								
最优结果	老化时间(12 h),冻结时间(10 h),冻藏时间(8 h)								

验证实验结果表明,最优冷冻工艺实验结果优于以上正交试验的任意结果,故可认为 $A_3B_3C_3$ 为最优

冷冻工艺组合,即老化时间为 12 h,冻结时间为 10 h,冻藏时间为 8 h。

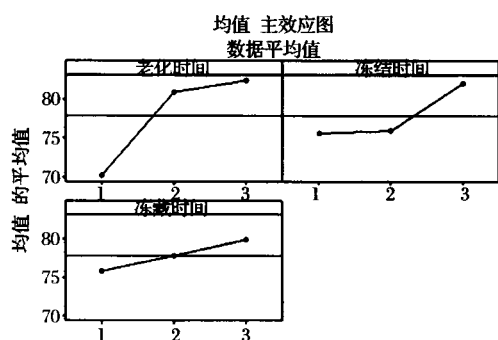


图3 均值主效应图

Fig. 3 The main effect figure of the mean

表5 数据方差分析

Table 5 Data analysis of variance

来源	自由度	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
老化时间	2	268.70	268.70	134.35	2.99	0.25
冻结时间	2	81.60	81.60	40.80	0.91	0.52
冻藏时间	2	25.82	25.82	12.91	0.29	0.78
误差	2	89.84	89.84	44.92		
合计	8	465.95				

注:加权分数的方差分析,在检验中使用调整的SS。

表6 验证结果

Table 6 Validation results

剪切力/ g	咀嚼性	拉伸力/ g	拉伸距离/ mm	断条率/ %	加权 评分	
539.24	38.8	25.73	44.69	0	84.10	
硬度/ g	黏附性/ (g·s ⁻¹)	弹性	黏结性	黏滞性	咀嚼性	回复性
8 877.10	- 32.00	0.95	0.87	7 745.03	7 344.72	0.69

3 结论

利用单因素和正交试验,采用质构分析和以剪切力、咀嚼性、拉伸力、拉伸距离和断条率5项指标进行的综合加权分析评定老化时间、冻结时间、冻藏时间

对无铝红薯粉条品质的影响,单因素结果表明,老化10 h,冻结8 h,冻藏6 h时,红薯粉条的质构较好,综合加权评分最高。正交优化试验表明,冷冻工艺3个时间因素中对无铝红薯粉条品质的影响最大的是老化时间,其次为冻结时间,影响最小的为冻藏时间。正交和验证试验结果表明,无铝红薯粉条最优冷冻工艺是:老化时间12 h,冻结时间10 h,冻藏时间8 h。

参考文献

- [1] 陈洪兴,顾正彪,洪雁. 粉丝的原料、生产工艺及发展趋势[J]. 食品工业科技,2003(7):29-34.
- [2] 李亚娜,陈宗道,阚建全,等. 方便红薯粉条的研制. 食品与发酵工业,2000,26(4):93-94.
- [3] 陈远洪. 精白红薯粉丝生产工艺[J]. 农家顾问,2004(9):47-49.
- [4] 王家良,陈光远,王改玲. 无铝红薯粉丝的研制及加工工艺[J]. 食品与发酵工业,2008,34(12):94-97.
- [5] 吴仲珍,刘治江,李育生,等. 无矾魔芋红苕粉条的研制及加工工艺[J]. 安徽农业科学,2013,41(24):10 122-10 124.
- [6] 巫东堂,周柏玲,卢健鸣,等. 无铝粉丝(条)研制及生产工艺研究[J]. 农业工程学报,2003,19(1):162-164.
- [7] 索海英,德力格尔桑,张航. 无明矾马铃薯粉丝制作工艺及其性能的研究[J]. 食品科技,2011,18(2):27-29.
- [8] 汤楚宙,郇伟,谢方平,等. 甘薯粉丝冷冻过程的试验研究[J]. 湖南农业大学学报,1995,21(4):386-391.
- [9] 冯志哲,张伟民,沈月新,等. 食品冷冻工艺学[M]. 上海:上海科学技术出版社,1985.
- [10] 单务本,汤楚宙. 年产200吨红薯粉丝加工厂配套冷库的设计[J]. 湖南农学院学报,1995,21(5):172-177.
- [11] 谭洪卓,陈素芹,谷文英. 粉丝品质评价标准的补充建议[J]. 粮油加工与食品机械,2006(3):78-84.
- [12] 陈素芹. 甘薯粉丝的品质改进与质量评价[D]. 无锡:江南大学,2006.
- [13] 岳晓霞,王梁,刘广,等. 马铃薯粉丝生产工艺条件的优化[J]. 食品与机械,2013,29(2):179-182.

Effect of freezing process on the quality of sweet potato vermicelli without aluminum

FAN Hui-ping^{1,2}, LI Rui¹, WANG Na¹, YANG Hai-long¹,
ZHAO Tian-xue³, LI Ning¹, AI Zhi-lu^{1,2*}

1(College of Food Science and Technology, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China)

2(Henan Engineering Research Center for Cold-chain, Zhengzhou 450002, China)

3(Henan Tianyu Potato Industry Co., LTD, Zhoukou, 477150, China)

ABSTRACT Sweet potato vermicelli non-aluminum were produced through different freezing process (time variable), comprehensive evaluation screening was performed to select the optimal processing time of ageing, freezing and frozen. The orthogonal optimization experimental results showed that the effect of aging time was the greatest. When aging time was 12 h, freezing time was 10 h and frozen storage time was 8 h, non-aluminum sweet potato vermicelli had the best quality.

Key words sweet potato vermicelli without aluminum; freezing processing; quality