

王 华,赵 兵. 响应面优化超声处理黄秋葵嫩果及对干燥速率影响[J]. 江苏农业科学,2018,46(7):181-185.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.07.045

响应面优化超声处理黄秋葵嫩果及对干燥速率影响

王 华^{1,2,3}, 赵 兵¹

(1. 中国科学院过程工程研究所生化工程国家重点实验室生物炼制工程研究部,北京 100190; 2. 中国科学院,北京 100049;
3. 河北环境工程学院,河北秦皇岛 066102)

摘要:结合黄秋葵果茶加工工艺的需要,对超声波预处理黄秋葵嫩果进行了试验研究,利用响应面优化了最佳预处理条件(超声波功率 200 W,处理时间 30 min,处理温度 20 ℃)。在此条件下获得黄秋葵嫩果切片后经热风干燥处理,干燥速率平均为 2.46 g/h,高于未处理组约 22%;且缩短了 15%~16% 的干燥时间。由此可知,在黄秋葵嫩果薄片果茶的加工工艺上,采用响应面分析法优化得到的超声波预处理最佳条件参数准确,具有实际可操作性。

关键词:黄秋葵;超声波;响应面;热风干燥;单因素试验;回归方程;工艺优化

中图分类号:TS255.36 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2018)07-0181-04

黄秋葵[*Abelmoschus esculentus* (L.) Moench],别称咖啡黄葵、补肾草、洋辣椒、羊角豆等,为锦葵科秋葵属一年生草本植物,黄秋葵属短日照蔬菜,性喜温暖,原产于非洲,自 20 世纪 90 年代初期引入我国内陆,随着国内多个地区栽培,资源较为丰富。黄秋葵可作为菜、药、花兼用,其嫩果特有的黏性物质营养丰富,富含蛋白质、不饱和脂肪酸、维生素、多糖、黄酮类化合物等,是一种重要的新型保健蔬菜,具有很高的开发利用价值和应用前景^[1-4]。但是黄秋葵嫩果作为蔬菜对采摘期要求较高,由于嫩果采收食用期温度较高,品质丧失很快,不宜长时间以嫩果存储。因此,对于高产且难存储的黄秋葵嫩果必须进行深加工,在黄秋葵的综合利用中,除了作为新鲜蔬菜,脱水蔬菜、果茶等也是目前常用加工工艺。

在超声波预处理的干燥试验中,国内学者研究发现超声波预处理可以提高干燥速率,并且干燥后各项感官性状较好^[5-7]。国外学者提出超声预处理作为热风干燥的辅助手段,不仅可钝化植物中果胶甲基酯酶和过氧化物酶,而且可以明显提高果蔬干燥速率,从而提高果蔬的干燥品质^[6-10]。本试验利用响应面法优化了超声波预处理黄秋葵嫩果,并研究其对薄片干燥工艺的影响。

1 材料与与方法

1.1 材料

黄秋葵嫩果,购买于北京新发地农产品批发市场,初始含水率为(89.32±0.45)%。

1.2 仪器与设备

KQ-400GKDV 型高功率恒温数控超声波清洗仪器,江苏省昆山市超声仪器有限公司;DGG-9140A 型电热恒温鼓

风干燥箱,上海森信实验仪器有限公司;CP214 电子天平,奥豪斯仪器有限公司;MB23 水分分析仪,奥豪斯仪器有限公司。

1.3 方法

1.3.1 工艺流程及操作要点 工艺流程:黄秋葵嫩果→清洗→超声波预处理→切片→常压热风干燥→成品。

操作要点:(1)原料超声波预处理。将黄秋葵嫩果用自来水清洗后,在超声波清洗仪中进行预处理。(2)切片。将预处理完的黄秋葵嫩果用滤纸吸去多余水分,去除两端,切为 2 cm 厚的薄片,称质量。(3)干燥。将黄秋葵薄片放于风速 1 m/s、温度 60 ℃电热鼓风干燥箱,干燥过程中定时称质量后,迅速放回继续干燥,直至 2 次连续称得质量差值小于 1%,干燥结束。

1.3.2 试验指标 干燥效果以黄秋葵嫩果干燥过程中的失水率作为评价指标。失水率以黄秋葵嫩果干燥前后质量差占干燥前质量的百分比计算。干燥曲线研究以干基含水率(M)及干燥速率(DR)^[5]为评价指标。

$$MC = \frac{m_0 - m_t}{m_0} \quad (1)$$

式中:MC 为干燥过程中物料的失水率,%; m_t 为干燥过程中物料的质量,g; m_0 为黄秋葵初始物料的质量,g。

$$M = \frac{m_t - m_d}{m_d} \quad (2)$$

式中:M 为干燥过程中物料的干基含水率,g/g; m_t 为干燥过程中物料的质量,g; m_d 为黄秋葵绝干物料的质量,g。

$$DR = \frac{M_t - M_{t+\Delta t}}{\Delta t} \quad (3)$$

式中:DR 为黄秋葵嫩果薄片的干燥速率,g/h; M_t 、 $M_{t+\Delta t}$ 分别为时间 t、t+Δt 对应的物质干基含水率,g/g;Δt 为时间间隔,h。

1.3.3 单因素试验 选取“1.3.1”节处理后的适量原料进行超声波预处理,设定超声波功率为 200 W、超声时间为 20 min、超声温度为 20 ℃。固定其他条件,分别考察超声波功率(80、120、160、200、240、280、320、360、400 W)、超声时间

收稿日期:2017-05-19

基金项目:国家自然科学基金青年科学基金(编号:21506220)。

作者简介:王 华(1978—),男,山西长治人,博士研究生,副教授,研究方向为生物资源与天然产物工程。E-mail:msnhuawang@126.com。

通信作者:赵 兵,博士,教授,从事生物资源与天然产物工程研究。

E-mail:bzhao@home.ipe.ac.cn。

(5、10、20、30、40、50、60 min)、超声温度(10、20、30、40、50、60 ℃)对黄秋葵薄片干燥效果的影响。

1.3.4 响应面法优化超声预处理工艺试验 在单因素试验的基础上,根据 Box - Behnken 试验设计原则,将黄秋葵嫩果薄片失水率作为响应量,选取超声波处理功率、时间、温度作为影响超声预处理黄秋葵的主要因素,采取 3 因素 3 水平的响应面方法对黄秋葵薄片干燥工艺参数进行优化(表 1)。

表 1 Box - behnken 试验设计因素水平

水平	因素		
	B: 超声功率(W)	C: 超声时间(min)	A: 超声温度(℃)
1	160	20	10
0	200	30	20
-1	240	40	30

使用 Design experts 8.0 软件对试验数据进行分析处理,建立回复方程及曲面图,并对任何 2 种交互效应进行分析评价,且对最佳试验方案进行验证。

1.3.5 结果验证 选取最佳超声波预处理条件下所得样品与未处理空白样品进行了干燥曲线和干燥速率曲线比较。

2 结果与分析

2.1 单因素试验结果

2.1.1 超声波预处理时间对黄秋葵嫩果薄片失水率的影响

选取清洗后无破损的新鲜黄秋葵嫩果,固定超声波功率 200 W、温度 20 ℃,研究不同超声波处理时间对黄秋葵嫩果预处理后干燥的影响。从图 1 - a 可知,黄秋葵嫩果在超声波

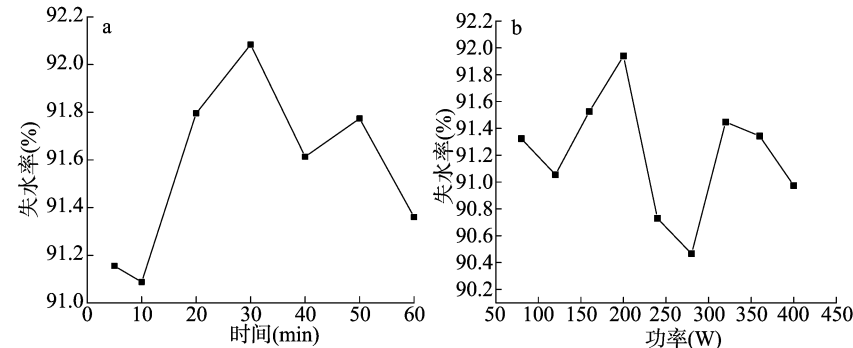


图1 不同提取条件对黄秋葵嫩果薄片失水率的影响

2.2 响应面分析与优化

2.2.1 数学模型的建立及显著性检验 基于单因素试验结果,选取超声波处理温度、功率、时间 3 个因素,根据 Box - Behnken 试验设计原则,采用 3 因素 3 水平的响应面分析,结果见表 2。利用 Design - Expert 8.0.6 软件处理数据,对表 2 响应值与各个因素采用二次型进行变异分析,分析结果见表 3。该模型对应的回归方程为:

$$Y = 91.67 + 0.064A + 0.11B + 0.051C - 0.04AB - 0.052AC + 5.0 \times 10^{-3}BC - 0.17A^2 - 0.61B^2 - 0.15C^2$$

由表 3 可知,对二次回归方程进行方差分析,结果表明,该回归方差模型极显著(P 值 = 0.000 3 < 0.01),因变量与所考察的自变量之间具有显著的线性关系($R^2 = 0.962 4$),表明该试验方法可靠。方程失拟项不显著($P > 0.05$),拟合程度较好,说明试验所得二次回归方程能很好地对响应值进行预测^[13]。从所选的各个因素水平来看,对失水率的影响排序为

处理 30 min 时,干燥过程中失水率最高。随着超声时间的延长,失水率呈现先上升后下降再小幅回升后持续下降的趋势。这可能是由于超声波引起物料结果变化,促进物料中结合水更容易在后续干燥过程中挥发,但是超声时间过长破坏物料结构可能使外界水分更容易进入物料,从而引起失水率会有小幅回升。因此,超声时间选择在 30 min 左右。

2.1.2 超声波预处理功率对黄秋葵嫩果薄片失水率的影响

选取清洗后无破损的新鲜黄秋葵嫩果,固定超声时间 30 min、温度 20 ℃,研究不同超声波处理功率对黄秋葵嫩果预处理后干燥的影响。从图 1 - b 可知,黄秋葵嫩果在超声波处理过程中,当超声波达到 200 W 时,干燥过程中失水率最高。随着超声波功率的加大,失水率呈现先上升后下降再小幅回升后持续下降的趋势。在超声波作用下,样品由于空化作用产生冲击波、微射流及微扰动,当超声波强度达到一定值时,冲击波、微射流及微扰动的强化作用使样品内部发生形变,减小水分扩散的阻力,形成微细管道,即形成海绵效应,这有利于样品内部微细管内的水分的外逸,加快水分的扩散过程^[11-17]。因此,超声波预处理功率选择为 200 W。

2.1.3 超声波预处理温度对黄秋葵嫩果薄片失水率的影响

选取清洗后无破损的新鲜黄秋葵嫩果,固定超声波功率 200 W、时间 30 min,研究不同超声波处理温度对黄秋葵嫩果预处理后干燥的影响。从图 1 - c 可知,黄秋葵嫩果在超声波处理温度为 20 ℃时,干燥过程中失水率最高。在单因素预试验过程中,随着温度的不断升高,样品的外观和结构容易被破坏。因此,超声波预处理温度选择为 20 ℃。

超声波功率 > 处理时间 > 处理温度,一次项 B、C 及二次项 A^2 、 B^2 表现为显著或极显著,说明其对响应值影响较大。整体分析来看,二次项对响应值影响最为显著,其次是一次项,交互项对响应值的影响最小。具体试验因素对于响应值的影响不是简单的线性关系。

2.2.2 响应面分析超声波预处理黄秋葵嫩果的优化

经 Design - Expert 8.0.6 软件处理,得到超声波预处理温度(A)、功率(B)、时间(C)交互作用及等高线图。各个因素交互作用对响应值的影响可通过等高线直观地反映出来,其等高线图的形状可反映出交互效应与强度,椭圆形表示两因素交互作用显著,圆形则与之相反^[18-19]。根据回归模型绘出等高线图 and 响应面图(图 2),从等高线和响应面的 2 组图比较可知,所选各因素水平范围内存在的极值,即响应面的最高点,同时也是最小椭圆的中心点。利用 Design - Expert 8.0.6 软件求解回归方程,得到超声波预处理黄秋葵嫩果的最佳条件为超

表 2 Box – Behnken 试验设计及结果

试验号	温度	功率	时间	失水率 (%)
1	-1	0	-1	91.13
2	-1	-1	0	90.28
3	0	1	1	91.23
4	1	1	0	91.01
5	1	0	1	91.45
6	-1	0	1	91.53
7	0	0	0	91.69
8	0	-1	1	90.89
9	0	-1	-1	90.69
10	-1	1	0	91.06
11	1	0	-1	91.46
12	0	0	0	91.87
13	0	0	0	91.56
14	1	-1	0	90.59
15	0	1	-1	90.91
16	0	0	0	91.56
17	0	0	0	91.68

表 3 回归方程模型显著性分析表

变异来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值
模型	3.02	9	0.34	19.89	0.000 3 **
A	0.03	1	0.03	1.93	0.207 5
B	0.39	1	0.39	22.97	0.002 0 **
C	0.10	1	0.10	6.14	0.042 3 *
AB	0.03	1	0.03	1.92	0.208 2
AC	0.04	1	0.04	2.49	0.158 4
BC	0.003 6	1	0.003 6	0.21	0.658 0
A ²	0.24	1	0.24	14.06	0.007 2 **
B ²	2.06	1	2.06	122.30	<0.000 1 **
C ²	0.01	1	0.01	0.45	0.525 7
残差	0.12	7	0.017		
失拟项	0.05	3	0.018	1.10	0.446 5
纯误差	0.06	4	0.016		
总误差	3.14	16			

注：“*”表示 $P < 0.05$, 差异显著; “**”表示 $P < 0.01$, 差异极显著。

声波预处理功率为 207.43 W、处理温度为 19.42 ℃、处理时间为 30 min。此条件下黄秋葵嫩果薄片热风干燥的理论失水率为 91.769%。

2.3 验证试验

采取“2.2.2”节得到最佳超声波预处理条件,考虑到实际操作的便利,将最佳预处理条件的参数修正为超声波预处理功率为 200 W、处理温度为 20 ℃、处理时间为 30 min,在此条件下进行 3 次平行试验,黄秋葵嫩果薄片平均失水率为 91.75%,其相对误差不到 1%,因此,响应面对黄秋葵嫩果超声预处理条件的优化具有实际可操作性。

2.4 超声预处理黄秋葵嫩果薄片干燥曲线

新鲜黄秋葵分为进行“2.2.2”节中最佳条件处理组 (Ultrasonic Group)、20 ℃ 水中浸泡 30 min 组 (Untreated Group)、不进行任何处理组 (Control) 等 3 组样品,切为 2 cm 厚度的薄片,进行风速 1 m/s、温度 60 ℃ 的热风干燥处理。

如图 3 所示,新鲜黄秋葵嫩果薄片热风干燥至恒质量,超声处理组样品热风干燥速率高于其他 2 组,如物料干基含水率高于 5 g/g 时,图 3-a 中 20 ℃ 水中浸泡 30 min 组和未处理组干基失水率低于超声处理组样品,图 3-b 中超声处理组的干燥速率平均为 2.46 g/h,分别高于其他 2 组 21.54%、21.95%。通过对样品干燥速率的分析,利用“2.2.2”节超声波最优预处理过的样品热风干燥至恒质量,需要 330 min,比其他 2 组所需时间缩短了 15.4%、16.7%。当干基含水率低于 5 g/g 时,图 3-b 显示 3 个试验组的样品干燥速率没有明显差异,干基失水率也趋于一致。可见,在干燥过程中,随着物料的含水率的不断降低,内部扩散阻力对干燥的影响越来越大。在物料干基含水率较高时,超声预处理对于物料的破坏,有助于提高物料的干燥速率;但是随着物料干基含水率降低时,水分扩散阻力不断增大,干燥速率在逐步降低,且不同物料中差异不明显^[20-24]。

3 结论

本研究采用响应面分析法优化超声波预处理黄秋葵嫩果的最佳条件,得到最佳条件为:超声波功率 200 W、处理温度 20 ℃、处理时间 30 min。在此条件下得黄秋葵嫩果切片后经热风干燥过程中,干燥速率平均为 2.46 g/h,高于未处理组约 22%;且缩短了 15%~16% 的干燥时间。由此可知,在黄秋葵嫩果薄片果茶的加工工艺,采用响应面分析法优化得到的超声波预处理最佳条件参数准确,具有实际可操作性。

参考文献:

[1] 覃世成. 药食兼用保健蔬菜——黄秋葵[J]. 农业新技术,2003,4(4):15.

[2] Savello P A, Martins F, Hull W. Nutrition composition of okra seed meals[J]. Journals of Agricultural and Food Chemistry, 1980, 28(6):1163–1166.

[3] 任丹丹,陈谷. 响应面法优化黄秋葵多糖超声提取工艺[J]. 食品科学,2011,32(8):143–146.

[4] Jackson C L, Dreaden T M, Theobald L K, et al. Pectin induces apoptosis in human prostate cancer cells; correlation of apoptotic function with pectin structure[J]. Glycobiology, 2007, 17(8):805–819.

[5] 林平,朱海翔,李远志,等. 超声波预处理对真空冷冻干燥胡萝卜的影响研究[J]. 食品科技,2010,35(7):116–119.

[6] 严小辉,余小林,胡卓炎,等. 超声预处理对半干型荔枝干干燥时间的影响[J]. 农业工程学报,2011,27(3):351–356.

[7] 段续,任广跃,朱文学,等. 超声波处理对香菇冷冻干燥过程的影响[J]. 食品与机械,2012,28(1):41–43.

[8] Villamiel M, Gamboa J, Soria A C, et al. Impact of power ultrasound on the quality of fruits and vegetables during dehydration[J]. Physics Procedia, 2015, 70:828–832.

[9] Santacatalina J V, Contreras M, Simal S, et al. Impact of applied ultrasonic power on the low temperature drying of apple[J]. Ultrasonics Sonochemistry, 2016, 28:100–109.

[10] Tao Y, Wang P, Wang Y L, et al. Power ultrasound as a pretreatment to convective drying of mulberry (*Morus alba* L.) leaves; impact on drying kinetics and selected quality properties[J]. Ultrasonics Sonochemistry, 2016, 31:310–318.

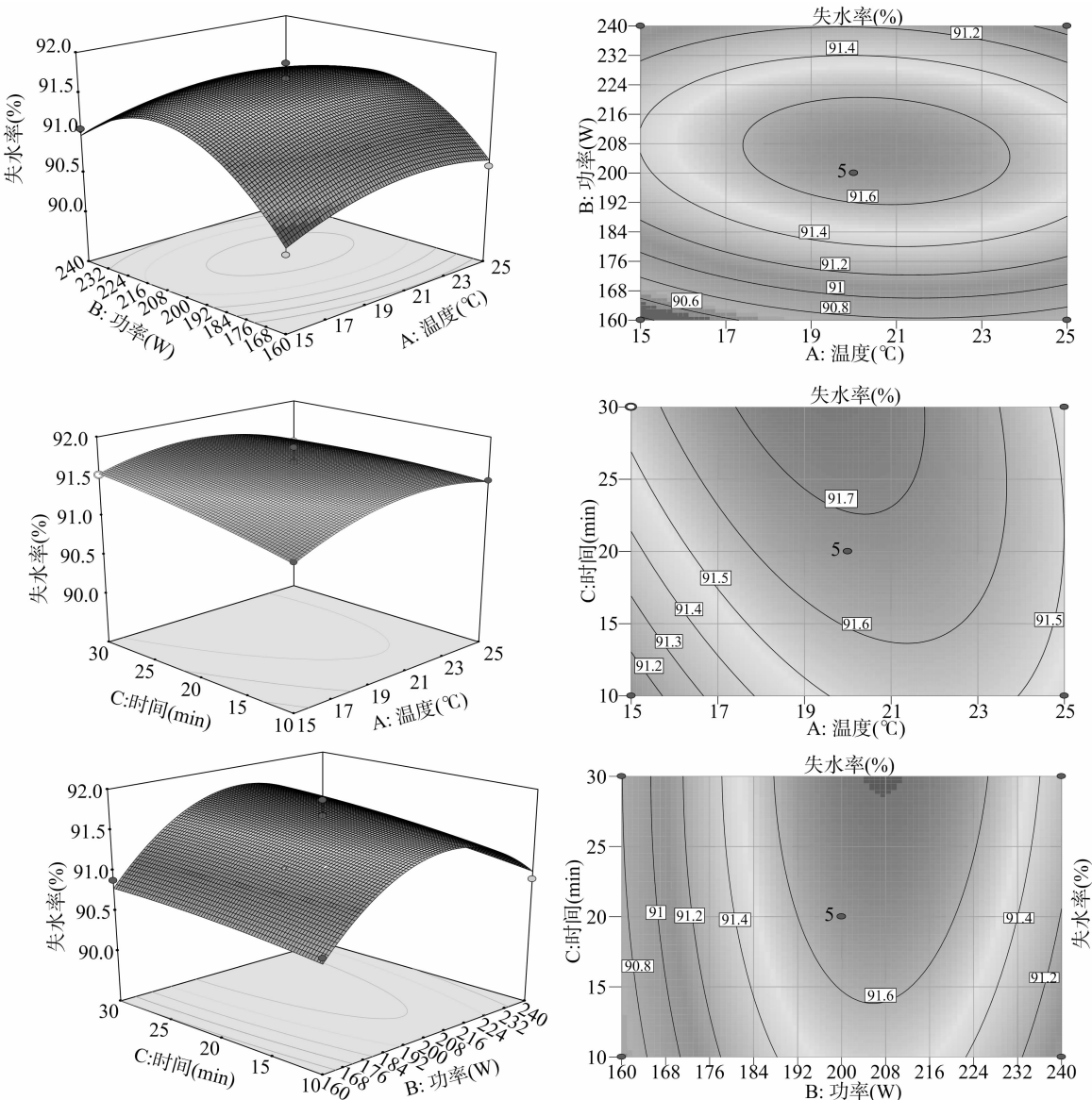


图2 温度(A)、功率(B)、时间(C)交互作用对失水率影响的等高线图和响应面图

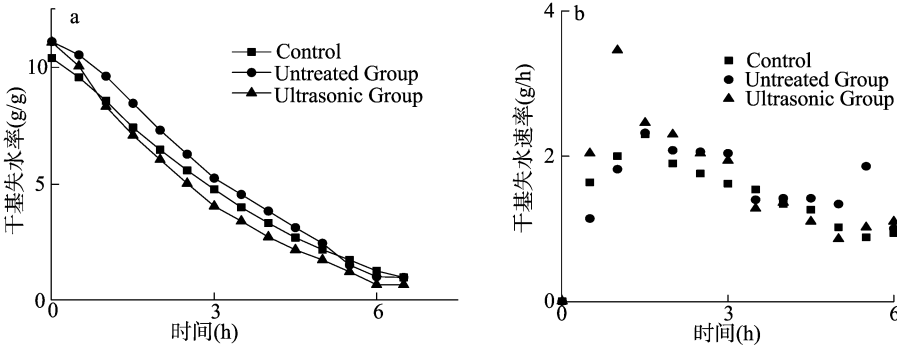


图3 黄秋葵嫩果薄片干燥曲线(a)及干燥速率曲线(b)

[11] 刘云宏, 孙悦, 王乐颜, 等. 超声波强化热风干燥梨片的干燥特性[J]. 食品科学, 2015, 36(9): 1-6.

[12] Gallego J A, Rodriguez C G, Galvez M C, et al. New high-intensity ultrasonic technology for good dehydration[J]. Drying Technology, 1999, 17(3): 597-608.

[13] Gallego J A, Riera E, De La Fuente B S, et al. Application of high-power ultrasound for dehydration of vegetables: processes and devices[J]. Drying Technology, 2007, 25(11): 1893-1901.

[14] García-Pérez J V, Cárcel J A, Benedito J, et al. Power ultrasound mass transfer enhancement on food drying[J]. Food and Bioprocess Technology, 2007, 3(85): 247-254.

[15] García-Pérez J V, Cárcel J A, Benedito J, et al. Drying of a low

杜 斌,吴文能,王继玥,等. 侗族传统腌鱼中乳酸菌的分离鉴定与生物学特性[J]. 江苏农业科学,2018,46(7):185-188.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.07.046

侗族传统腌鱼中乳酸菌的分离鉴定与生物学特性

杜 斌,吴文能,王继玥,周笑犁,余 旭

(贵阳学院食品与制药工程学院,贵州贵阳 550005)

摘要:对侗族传统发酵腌鱼中的乳酸菌进行分离鉴定,并对其生长特性进行研究。从产品中分离得到乳酸菌疑似菌株 16 株,经生理生化鉴定,初步确定为消化乳杆菌(8 株)、植物乳杆菌(4 株)、草乳杆菌(2 株)和发酵乳杆菌(2 株)。结合生理生化鉴定结果,对样品中分离出的 ZZY-6、CJY1-1、ZZY-3 和 CJY2-3 等 4 株分离菌株进行 16S rDNA 基因序列分析,构建系统发生树。经分析可知,ZZY-6 为消化乳杆菌(*Lactobacillus alimentarius*),CJY1-1 为植物乳杆菌(*L. plantarum*),ZZY-3 为草乳杆菌(*L. graminis*),CJY2-3 为发酵乳杆菌(*L. fermentum*)。生长特性研究结果显示,分离所得菌株均具有良好的生长性能、产酸性能和耐盐性,但均未检测到脂肪酶活性,仅植物乳杆菌表现出蛋白酶活性。

关键词:发酵腌鱼;乳酸菌;分离;生物学特性

中图分类号: S182 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)07-0185-04

贵州黔东南苗族、侗族自治州的传统民族食品腌鱼,主要是以稻田养殖的鲤鱼为原料,将鲤鱼由背部剖开并除去内脏,盐腌 16~24 h 后,拌入糯米饭、辣椒粉及其他辅助香料入坛(桶),放置于避光阴凉的地方自然发酵而成。腌鱼集甜、酸、辣、麻、咸于一体,口感软嫩,味道鲜美,可生吃,亦可煎、炸、烤、蒸,是当地民众招待客人的上乘佳肴^[1-2]。但是由于传统手工艺制作过程复杂,发酵时间较长,目前腌鱼还没有大规模生产和上市流通。乳酸菌作为传统发酵肉制品中的优势菌群,对产品风味的形成和营养品质变化起着至关重要的作用。目前对于少数民族传统发酵肉制品中乳酸菌的研究还比较缺

乏,为此,本研究以侗族传统民族食品腌鱼为材料,对成品中的乳酸菌进行分离鉴定,并利用 16S rRNA 序列分析方法进行菌种鉴定,以期发现腌鱼中特有的菌种资源,为改进其传统工艺,进而发掘有益乳酸菌打下基础。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

1.1.1 试验材料 本试验用稻田鲤鱼捕捉于贵州省黔东南州黎平县,采用当地农户传统腌制方法腌制 60d 制成成品,另外收集当地农户的腌鱼成品,共 3 份样品。采样时严格按照 GB/T4789.1—2010《食品安全国家标准 食品微生物学检验 总则》操作。腌鱼样品分别编号为 ZZY、CJY-1、CJY-2 (ZZY 为自制腌鱼,CJY-1、CJY-2 为采集样品)。

1.1.2 培养基及主要试剂 MRS 肉汤培养基,购自北京奥博星生物技术有限公司;PCR 相关试剂,均购自北京全式金生物技术有限公司;微量生化鉴定管,购自青岛海博生物技术有限公司。

收稿日期:2016-11-07

基金项目:贵州省科技厅博士基金(编号:黔科合基础[2017]1167);

贵州省教育厅青年科技人才成长项目(编号:黔教合 KY 字[2016]242);贵州省普通高等学校功能食品重点实验室(编号:黔教合 KY 字[2016]007);贵州省大学生创新创业训练计划(编号:201710976012);贵阳学院人才启动基金(编号:201603751113)。

作者简介:杜 斌(1983—),男,内蒙古呼和浩特人,博士研究生,讲师,主要从事食品微生物研究。E-mail:daniellu83@hotmail.com。

porosity product (carrot) as affected by power ultrasound [C]//3rd International Conference on Diffusion in Solids and Liquids, 2007: 764-769.

[16] Mulet A, C R J, Sanju N N, et al. New food drying technologies - use of ultrasound [J]. Food Science and Technology International, 2003, 9(3): 215-221.

[17] Cárcel J A, Benedito J, Rosselló C, et al. Influence of ultrasound intensity on mass transfer in apple immersed in a sucrose solution [J]. Journal of Food Engineering, 2007, 78(2): 472-479.

[18] 赵 芳,陈振乾,施明恒. 苹果片超声波预干燥传质过程试验研究[J]. 东南大学学报(自然科学版), 2011, 41(1): 124-128.

[19] Sun B Z, Huai X L, Jiang R Q, et al. Mass transfer during osmotic dehydration using acoustic cavitation [J]. Chinese Journal of Chemical Engineering, 2005, 13(1): 13-17.

[20] 张丽晶,林向阳,彭树美,等. 响应面法优化绿茶微波真空干燥工艺条件[J]. 食品科学, 2009, 30(22): 122-125.

[21] Cárcel J A, García - Pérez J V, Riera E, et al. Improvement of convective drying of carrot by applying power ultrasound influence of mass load density [J]. Drying Technology, 2011, 29(2): 174-182.

[22] 马空军,贾殿赠,包文忠,等. 超声场强化渗透脱水传质机理模型研究[J]. 食品科学, 2011, 32(13): 94-101.

[23] Rastogi N K. Opportunities and challenges in application of ultrasound in food processing [J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2011, 51(8): 705-722.

[24] Clemente G, Sanjuan N, Andres Cárcel J, et al. Influence of temperature, air velocity, and ultrasound application on drying kinetics of grape seeds [J]. Drying Technology, 2014, 32(1): 68-76.