

# 番茄醋发酵工艺研究

徐丹<sup>1</sup>, 张宝善<sup>1,2\*</sup>, 李亚婷<sup>1</sup>, 洪云鹤<sup>1</sup>

(1. 陕西师范大学食品工程与营养科学学院, 陕西西安 710119; 2. 陕西省果蔬深加工研究中心, 陕西西安 710119)

**摘要** [目的] 优化番茄醋的生产工艺。[方法] 以番茄为主要原料, 经过酒精发酵和醋酸发酵产生番茄醋, 通过单因素和正交试验对番茄醋的酒精发酵、醋酸发酵生产工艺参数进行优化。[结果] 试验表明, 酒精发酵在初始含糖量 15%、酵母菌接种量 0.03%、发酵温度 28 ℃、初始 pH 4.0 的条件下, 酒精度可达到 8.2%。醋酸发酵在温度 32 ℃、醋酸菌接种量 8%、初始酒精度为 7% (V/V)、醋酸发酵 pH 3.5 条件下, 醋酸含量达到 59.36 g/L。在此条件下, 经过澄清调配后可获得呈浅黄色、口味酸甜醇厚、品质优良的番茄醋。[结论] 研究可为番茄的深加工提供参考。

**关键词** 番茄; 番茄醋; 酒精发酵; 醋酸发酵

中图分类号 S641.2 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2017)08-0093-05

## Study on Fermentation Process of Tomato Vinegar

XU Dan<sup>1</sup>, ZHANG Bao-shan<sup>1,2\*</sup>, LI Ya-ting<sup>1</sup> et al (1. College of Food Engineering and Nutritional Science, Shaanxi Normal University, Xi'an, Shaanxi 710119; 2. Research Center of Fruit and Vegetable Deep-processing Technology, Xi'an, Shaanxi 710119)

**Abstract** [Objective] To optimize the production process of tomato vinegar. [Method] Using tomato as the main raw material to produce tomato vinegar through alcoholic fermentation and acetic fermentation, and to optimize the alcoholic fermentation and acetic fermentation production process parameters by single factor and orthogonal test. [Result] The tests showed that when alcoholic fermentation was under conditions of initial sugar 15%, inoculation amount of yeast 0.03%, fermentation temperature 28 ℃, initial pH 4, alcohol could reach 8.2%. And when acetic fermentation was under conditions of temperature 32 ℃, inoculation amount of acetic bacteria 8%, initial alcohol 7% (V/V), initial pH 3.5, acetic could up to 59.36 g/L. Under the above conditions, after cleaning and allocating, light yellow, sweet and mellow taste and good quality of tomato vinegar was obtained. [Conclusion] The study can provide reference for deep-processing of tomato.

**Key words** Tomato; Tomato vinegar; Alcoholic fermentation; Acetic fermentation

醋是我国传统调味品, 营养价值丰富, 具有保健功能。果蔬醋品是以果蔬为主要原料, 经发酵而成的调味品。研究表明, 果蔬醋品具有促进新陈代谢、调节酸碱平衡、消除疲劳、健胃消食、美容护肤、预防心脑血管疾病等作用<sup>[1]</sup>, 可作为一种天然保健饮品, 逐渐被市场所接受和喜爱, 利用果蔬资源生产醋在调味品行业具有很大的发展前景。

番茄 (*Lycopersicon Esculentum* Mill), 属茄果类蔬菜, 具有水果的特点<sup>[2]</sup>。番茄口味酸甜, 具有丰富的营养价值, 同时富含矿物质、有机酸、维生素和氨基酸等成分<sup>[3]</sup>。此外, 番茄中含有具有抗氧化作用的色素番茄红素, 番茄红素具有抗癌防癌、延缓衰老等保健作用<sup>[4]</sup>。我国番茄的生产地分布广泛, 年产量大, 但由于番茄含水量高, 采后质地容易变软, 在运输和贮藏过程中易腐烂, 为了解决上述问题, 笔者以番茄为原料, 酿造色、香、味俱佳的番茄醋, 同时优化番茄醋的生产工艺, 为番茄深加工提供一定的参考。

## 1 材料与与方法

### 1.1 材料

**1.1.1 原辅料。**新鲜番茄, 市售; 白砂糖, 市售优级; 柠檬酸; 果胶酶; 葡萄酒·果酒专用酵母, 安琪酵母; 醋酸菌, 由陕西师范大学食品工程与营养科学学院发酵实验室提供。

**1.1.2 主要仪器与设备。**AL204 电子天平, 梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司; HWS 智能恒温恒湿培养箱, 宁波江南仪器厂; MH500 电子恒温电热套, 北京化玻联医疗器械有限公司; 玻璃密度计、发酵罐、滴定装置, 实验室自备; LDZX

-30KBS 立式压力蒸汽灭菌器, 上海申安医疗器械厂; 水浴恒温振荡器; 手持糖度计; JJ-2 组织捣碎机, 常州国华电器有限公司; PHS-3C 精密 pH 计, 上海精密科学仪器有限公司。

**1.2 分析方法** 酒精度的测定, 采用酒精计法, 按 GB/T 10345—2007 中相关规定进行测定; 糖度采用手持糖度计测定; 总酸的测定, 采用标准 NaOH 滴定法; pH 采用 PHS-3C 精密 pH 计测定; 果醋微生物检验, 参照 GB 2719—2003 食醋卫生标准<sup>[5]</sup>。

### 1.3 工艺流程与操作要点

**1.3.1 工艺流程**<sup>[6-8]</sup>。番茄→清洗→打浆破碎→番茄浆→酶解→过滤→调整成分→杀菌 $\xrightarrow{+酒精酵母}$ 酒精发酵 $\xrightarrow{+醋酸菌}$ 醋酸发酵→调配→过滤→装瓶→密封杀菌、冷却→成品。

#### 1.3.2 操作要点。

**1.3.2.1 原料处理。**购买市售新鲜、完整、无病虫害的番茄, 将清洗好的番茄用 90~95 ℃热水烫 2 min 后, 破碎成浆。

**1.3.2.2 酶解处理。**加入量为 0.03% 的果胶酶, 于 40 ℃左右处理 2 h<sup>[9]</sup>, 使果胶分解形成乳糖醛酸和果胶酸, 可降低番茄的黏度, 同时可优化番茄汁色泽, 缩短加工时间并提高出汁率。

**1.3.2.3 糖度调整。**酒精发酵过程中, 理论上以 1.70% 的蔗糖溶液经酵母发酵产生 1% (V/V) 的酒精度来计算蔗糖添加量。由于果酒的酒精度一般为 7%~18%, 因此调整糖度到 13%~15%<sup>[9]</sup>。

**1.3.2.4 灭菌。**在温度 75~85 ℃加热 20 min 灭菌。

**作者简介** 徐丹(1991—), 女, 湖南武冈人, 硕士研究生, 研究方向: 农产品加工。\* 通讯作者, 教授, 从事食品微生物学、食品发酵学研究。

**收稿日期** 2017-01-13

**1.3.2.5 酵母活化。**在 30 ℃ 恒温水浴锅中将活性干酵母复水约 40 min 后,加入 0.02% 白砂糖,每隔 20 min 搅拌 1 次<sup>[10]</sup>。

**1.3.2.6 酒精发酵。**将前处理好的番茄汁注入发酵罐后,与 6% 酵母液均匀混合<sup>[11]</sup>,于恒温培养箱中进行酒精发酵。以发酵温度、酵母菌接种量和初始 pH 为 3 个影响因素设计  $L_9(3^4)$  正交试验。酒精发酵正交试验因素与水平设计见表 1。

表 1 酒精发酵正交试验因素水平设计

Table 1 Factors and levers of orthogonal experiment on alcoholic fermentation

水平 Level	因素 Factor		
	接种量(A) Inoculum size//%	温度(B) Temperature//℃	pH(C)
1	0.02	28	3.5
2	0.03	30	4.0
3	0.04	32	4.5

以酒精度为评价指标,每天记录酒精发酵情况并确定最佳发酵条件。酒精发酵完成后,进行高温灭菌处理(95 ℃ 下灭菌 15 s)。酒精度达到 6% (V/V) 以上转入醋酸发酵。

**1.3.2.7 醋酸菌种子制备及扩大培养。**挑出醋酸菌保藏斜面上的菌体活化,镜检无杂菌。后进行液态 1 级扩大培养、2 级扩大培养、3 级扩大培养<sup>[12]</sup>。

**1.3.2.8 醋酸发酵。**将醋酸菌种接入番茄酒中进行醋酸发酵。以初始酒精度、接种量、发酵温度、发酵初始 pH 为 4 个影响因素设计正交试验,如表 2 所示。发酵过程中定期搅拌,使空气进入,以酸度为评价指标确定最佳发酵条件。

表 2 醋酸发酵正交试验因素水平设计

Table 2 Factors and levels of orthogonal experiment for optimizing acetic fermentation

水平 Level	因素 Factor			
	接种量(A) Inoculum size//%	初始酒精度(B) Initial alcohol % (V/V)	温度(C) Temperature ℃	pH(D)
1	6	6	30	3.0
2	8	7	32	3.5
3	10	8	34	4.0

**1.3.2.9 后处理。**后处理醋酸发酵结束后,明胶法澄清<sup>[13-14]</sup>,于 80 ℃ 下杀菌 10 ~ 20 min,冷却后检验合格装瓶保藏。

## 2 结果与分析

### 2.1 酒精发酵

**2.1.1 发酵初始含糖量选择。**选取发酵液初始含糖量 9%、11%、13%、15%、17%,酵母菌接种量 0.03%,发酵温度 28 ℃,初始 pH 4.0,每隔 1 d 测其酒精度和可溶性固形物含量,试验结果如图 1 所示。不同初始含糖量转化为酒精的利用率如图 2 所示。

如图 1 和 2 所示,酒精度随含糖量升高而升高,但含糖量过高会导致酒精转化率下降,残糖率也因此升高。因此选择最佳初始含糖量为 15%。

**2.1.2 酵母菌接种量选择。**该试验选取发酵液初始含糖量为 15%,发酵温度 30 ℃,初始 pH 4.0,酵母菌接种量分别为

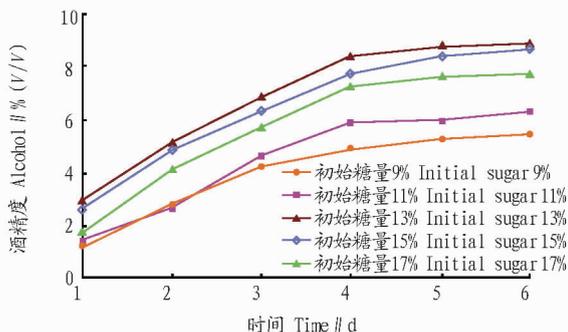


图 1 不同初始含糖量对酒精发酵的影响

Fig. 1 Effects of sugar concentrations on alcoholic fermentation

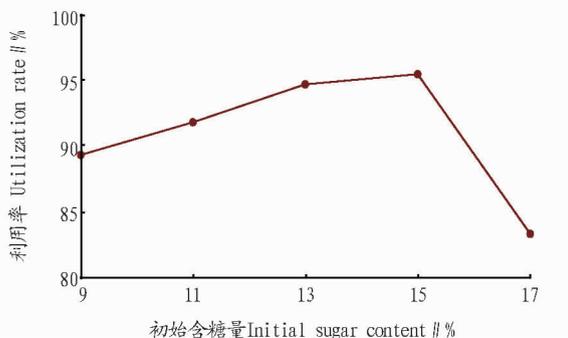


图 2 糖转化为酒精的利用率

Fig. 2 The utilization of sugar into alcohol

0.01%、0.02%、0.03%、0.04%、0.05%,每隔 1 d 测其酒精度,试验结果如图 3 所示。

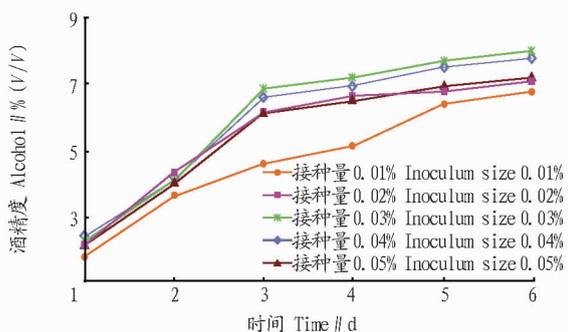


图 3 不同初始含糖量菌接种量对酒精发酵的影响

Fig. 3 Effect of different inoculation sizes of yeast on alcoholic fermentation

从图 3 变化曲线可知,酵母接种量增大导致发酵速度加快,当接种量为 0.03% 时,第 6 天酒精度达到最大值,更利于后续的醋酸发酵,为最佳的接种量。当酵母菌接种量过大时,菌体细胞繁殖过程中产生的大量代谢物会影响发酵产物,发酵不理想。

**2.1.3 发酵温度选择。**该试验选取发酵液初始含糖量为 15%,酵母菌接种量 0.03%,初始 pH 4.0,发酵温度分别为 26、28、30、32、34 ℃,每隔 1 d 测其酒精度,试验结果见图 4。

从图 4 可知,酒精度在一定范围内会随着温度的上升而增加,当温度过高时,酵母菌的生长代谢速度降低甚至失活,导致酒精度降低。因此 30 ℃ 为酒精发酵的最适温度。

**2.1.4 初始 pH 选择。**选取发酵液初始含糖量为 15%,酵母

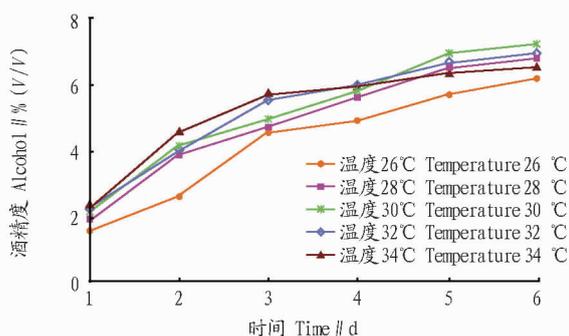


图4 温度对酒精发酵的影响

Fig. 4 Effect of temperature on alcoholic fermentation

菌接种量 0.03%, 发酵温度 30 ℃, 初始 pH 分别为 3.0、3.5、4.0、4.5、5.0, 每隔 1 d 测其酒精度, 试验结果见图 5。

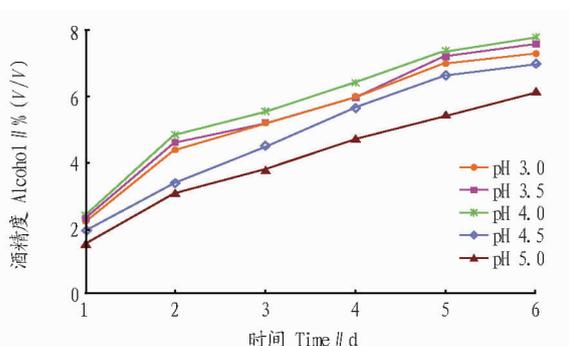


图5 不同初始 pH 对酒精发酵的影响

Fig. 5 Effect of different initial pH on alcoholic fermentation

从图 5 可知, 不同初始 pH 对发酵酒精度影响不同, 适宜酒精发酵的 pH 为 4.0。

**2.1.5 正交试验优化酒精发酵工艺参数。**在单因素试验的基础上设计 3 因素 3 水平正交试验, 通过考察酵母接种量、发酵温度、初始 pH 对酒精发酵的影响, 以酒精度为参考指标, 优化酒精发酵工艺条件。正交试验结果见表 3。

表3 酒精发酵正交试验结果与分析

Table 3 Results and analysis of orthogonal experiment for alcoholic fermentation

试验号 Test No.	因素 Factor			酒精度 Alcohol // % (V/V)
	接种量(A) Inoculum size	温度(B) Temperature	pH(C)	
1	1	1	1	7.3
2	1	2	2	7.7
3	1	3	3	7.5
4	2	1	2	7.9
5	2	2	3	8.0
6	2	3	1	7.5
7	3	1	3	7.2
8	3	2	1	7.4
9	3	3	2	7.5
$\bar{K}_1$	7.50	7.47	7.37	
$\bar{K}_2$	7.80	7.70	7.70	
$\bar{K}_3$	7.37	7.50	7.57	
R	0.43	0.23	0.33	

通过对选用的因素和水平的探究, 可得最优组合为  $A_2B_2C_2$ , 即酵母接种量为 0.03%, 发酵温度为 30 ℃, 初始 pH 4.0。各因素对酒精度影响程度大小依次为酵母菌接种量、初始 pH、发酵温度。直观分析得出, 5 号试验  $A_2B_2C_3$  得出酒

精度最高。将组合方案  $A_2B_2C_2$  与  $A_2B_2C_3$  同时验证, 结果按组合方案  $A_2B_2C_2$  所得酒精度最高, 酒精度为 8.2% (V/V)。最终得出  $A_2B_2C_2$  为最优组合方案。

## 2.2 醋酸发酵

**2.2.1 发酵初始酒精度选择。**该试验选取酒精发酵条件为温度 32 ℃, 醋酸菌接种量 8%, 初始 pH 3.5, 发酵初始酒精度分别为 4%、5%、6%、7%、8% (V/V)。每隔 1 d 测定总酸含量, 随时间的变化醋酸发酵产酸量结果见图 6。

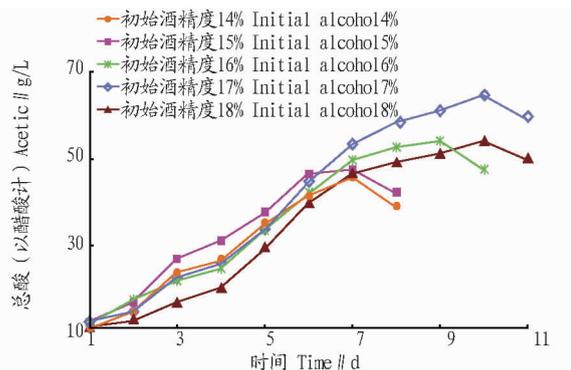


图6 初始酒精度对醋酸发酵的影响

Fig. 6 Effects of initial alcohol on acetic fermentation

由图 6 可知, 产酸量随酒精度增大而升高, 发酵周期也同期增长。当酒精度为 4% ~ 6% (V/V) 时, 醋酸含量增长缓慢, 发酵周期较短。酒精度 7% ~ 8% 时, 发酵周期长, 醋酸含量显著增加, 后期降低。酒精浓度过高会抑制醋酸菌生长代谢, 产酸量缓慢降低, 醋酸发酵周期增长。因此初始酒精度选择 7% (V/V)。

**2.2.2 醋酸菌接种量选择。**该试验选取醋酸发酵温度为 32 ℃, 发酵初始酒精度 7%, 初始 pH 3.5, 醋酸菌接种量分别为 6%、8%、10%、12%、14%。每隔 1 d 测定产酸总量, 醋酸发酵产酸量随时间的变化结果见图 7。

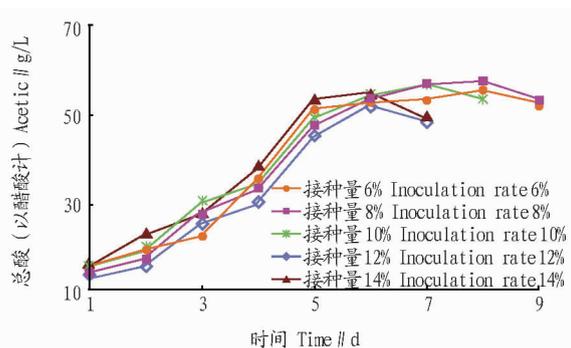


图7 接种量对醋酸发酵的影响

Fig. 7 Effects of different inoculation rate to acetic fermentation

由图 7 可知, 接种量为 10% ~ 14% 时, 醋酸发酵速率快, 但周期较短, 在发酵过程中菌体细胞生长繁殖不仅消耗营养物质过多, 且产生代谢废物, 过早结束发酵周期, 使醋酸总量降低过快。同时菌体细胞较早老化、自溶等现象导致产酸量较低。接种量为 6% ~ 8% 时, 产酸量大且最终降低不明显。因此选择接种量为 8%。

**2.2.3 发酵温度选择。**该试验选取发酵初始酒精度 7%, 醋

酸菌接种量8%,初始pH 3.5,发酵温度分别为28、30、32、34、36℃,每隔1d测定产酸总量,醋酸发酵产酸量随时间的变化情况见图8。

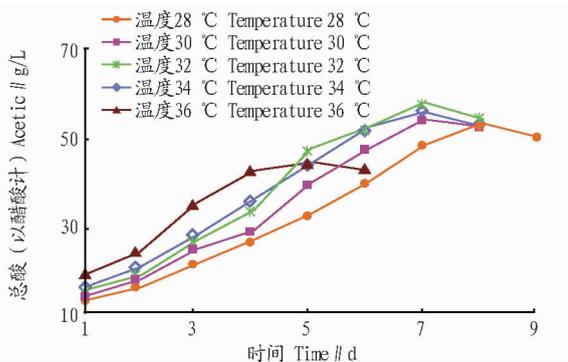


图8 温度对醋酸发酵的影响

Fig.8 Effects of temperature on acetic fermentation

由图8可知,随着温度的升高,总酸含量升高速度快且周期变短。当温度为30~34℃时,总产酸量较大。醋酸发酵温度过低不利于醋酸菌的生长繁殖,但温度过高会造成菌体老化或失活,通过试验选取最适合醋酸发酵的温度为32℃。

**2.2.4 初始pH选择。**该试验选取发酵初始酒精度7%,发酵温度32℃,醋酸菌接种量8%,初始pH分别3.0、3.5、4.0、4.5、5.0,每隔1d测定产酸总量,醋酸发酵产酸量

表4 醋酸发酵正交试验结果

Table 4 Result of orthogonal experiment for optimizing acetic fermentation

试验号 Test No.	因素 Factor				总酸(以醋酸计, $Y_1$ ) Acetic g/L	项目评分 Scoring					总评分( $Y_2$ ) Total score
	A	B	C	D		色泽 Color	气味 Smell	质地 Texture	酸度 Acidity	甜度 Sweetness	
1	1	1	1	1	45.05	16.80	14.90	12.15	11.85	11.65	67.35
2	1	2	2	2	56.50	17.30	12.49	14.35	13.60	12.40	70.14
3	1	3	3	3	42.80	15.52	12.88	13.45	13.55	13.75	69.15
4	2	1	3	2	50.40	14.72	13.43	12.85	12.75	14.45	68.20
5	2	2	1	3	58.45	15.55	14.85	13.95	13.55	14.30	72.20
6	2	3	2	1	51.05	15.39	15.36	12.15	14.50	13.70	71.10
7	3	1	2	3	47.25	16.40	14.65	12.85	13.50	12.10	69.05
8	3	2	3	1	54.05	14.20	14.40	14.60	14.20	13.75	70.65
9	3	3	1	2	50.70	15.20	13.95	13.40	12.45	12.25	67.25
$\bar{K}_{(Y_1)1}$	4.812	4.757	5.140	5.005							
$\bar{K}_{(Y_1)2}$	5.330	5.633	5.160	5.253							
$\bar{K}_{(Y_1)3}$	5.067	4.818	4.908	4.950							
$R_{(Y_1)}$	0.518	0.876	0.252	0.303							
$\bar{K}_{(Y_2)1}$	68.88	68.20	68.93	69.70							
$\bar{K}_{(Y_2)2}$	70.50	71.00	69.86	68.53							
$\bar{K}_{(Y_2)3}$	68.98	69.25	69.33	70.13							
$R_{(Y_2)}$	1.62	2.80	0.53	1.60							

组合为 $A_2B_2C_2D_2$ ,即温度32℃、醋酸菌接种量8%、初始酒精度7%、醋酸发酵pH 3.5,由于极差 $R_B > R_A > R_D > R_C$ ,得出4个因素的影响程度大小依次为初始酒精度、醋酸菌接种量、醋酸发酵pH、醋酸发酵温度。考虑感官评分,醋酸发酵试验最佳组合为 $A_2B_2C_2D_3$ ,即温度32℃、醋酸菌接种量8%、酒精度7%、醋酸发酵pH 4.0;比较极差 $R$ 值得 $R_B > R_A > R_D > R_C$ ,得出4个因素的影响程度大小依次为初始酒精度、醋酸菌接种量、醋酸发酵pH、醋酸发酵温度。9次试验中

随时间的变化结果见图9<sup>[15]</sup>。

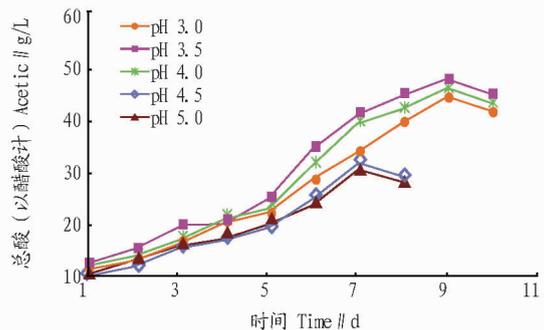


图9 pH对醋酸发酵的影响

Fig.9 Effects of pH on acetic fermentation

由图9可知,初始pH越大,总酸含量反而越小,初始pH越高,发酵周期越短。当初始pH为3.5时,醋酸发酵所产总酸含量最高,因此选其为最优初始发酵pH。

**2.2.5 正交试验优化醋酸发酵工艺参数。**在单因素试验的基础上设计4因素3水平正交试验,通过考察酵母接种量、发酵温度、初始pH对酒精发酵的影响,以酒精度为参考指标,优化酒精发酵最佳条件。结合色泽、气味、质地、酸度、甜度项目评分<sup>[14,16]</sup>,采用 $L_9(3^4)$ 正交表,试验结果见表4。

由表4分析得知,考虑番茄醋总酸,醋酸发酵最佳条件

5号试验 $A_2B_2C_1D_3$ 所生成的总酸含量最高。将组合方案 $A_2B_2C_2D_2$ 与 $A_2B_2C_1D_3$ 同时验证,结果按组合方案 $A_2B_2C_2D_2$ 所生成的总酸含量较高,酸度为59.36 g/L,所以 $A_2B_2C_2D_2$ 为最优组合方案。

对酸度值的方差分析得出, $F_A = 7.6422, P_A = 0.0115; F_B = 27.2393, P_B = 0.0002; F_C = 2.2262, P_C = 0.1639; F_D = 2.9713, P_D = 0.1021$ 。由此看出,初始酒精度对酸度的影响极显著( $P < 0.01$ ),醋酸菌接种量对酸度的影响在0.05水平

均显著,而发酵温度和发酵 pH 对产酸量影响不大。从  $F$  值得各因素对酸度影响程度依次为初始酒精度、醋酸菌接种量、醋酸发酵 pH、醋酸发酵温度。对感官评定值的方差分析得出,  $F_A = 4.4542$ ,  $P_A = 0.0452$ ;  $F_B = 10.9246$ ,  $P_B = 0.0039$ ;  $F_C = 1.8917$ ,  $P_C = 0.2062$ ;  $F_D = 3.7250$ ,  $P_D = 0.0663$ 。由此看出,初始酒精度对酸度的影响在 0.01 水平均显著,醋酸菌接种量对酸度的影响在 0.05 水平均显著,而发酵温度和发酵 pH 对酸度的影响不显著。从  $F$  值大小可见各因素对感官评分的影响顺序依次为初始酒精度、醋酸菌接种量、醋酸发酵 pH、醋酸发酵温度。由于感官评定受很多因素的影响,如时间、地点、温度、鉴评人员的身体状况等,所以结合酸度值和感官评定值的  $R$  值和方差分析结果综合考虑,得出以下结论:各因素对番茄醋发酵的影响程度由大到小依次为初始酒精度、醋酸菌接种量、醋酸发酵 pH、醋酸发酵温度;番茄醋发酵最佳条件为温度 32 ℃、醋酸菌接种量 8%、初始酒精度 7%、醋酸发酵 pH 3.5。

### 2.3 产品质量和标准

**2.3.1 感官指标。**试验制得的番茄醋色泽为澄清浅黄色,口味酸甜醇厚,具有番茄果香及番茄酸甜的口感,组织无悬浮物、无沉淀。

**2.3.2 理化指标。**该试验制得的番茄醋总酸(以醋酸计) 56.80 g/L;总糖(可溶性固形物含量)为 31.50 g/L。

**2.3.3 微生物指标。**该试验制得的番茄醋菌落总数  $\leq 100$  CFU/mL;大肠杆菌  $\leq 3$  MPN/dL;致病菌不得检出。

## 3 结论

通过对酒精发酵和醋酸发酵的单因素试验和正交试验得出,番茄醋酒精发酵的最佳工艺条件为初始糖浓度 15%,酵母菌接种量 0.03%,发酵温度 30 ℃,初始 pH 4.0,酒精度

为 8.2%;番茄醋醋酸发酵的最佳工艺条件为温度 32 ℃、醋酸菌接种量 8%、初始酒精度为 7%、醋酸发酵 pH 3.5,酸度为 59.36 g/L。在此条件下,生产的番茄醋呈浅黄色,口味酸甜醇厚,既具有番茄特殊的果香,又融合果醋的醋酸味,可为番茄的开发利用和丰富果醋市场提供参考。

## 参考文献

- [1] 蒋丽,周俊良,张兴无. 果醋的研究现状及发展前景[J]. 中国调味品, 2012,37(4):1-4.
- [2] 金同铭. 番茄的营养价值与保健作用[J]. 蔬菜,1998(3):32.
- [3] 王雁,谢晶,金晨钟,等. 番茄果醋酿制工艺研究[J]. 现代农业科技, 2015(11):302-303.
- [4] 姚佳,蒲彪. 番茄红素提取工艺及检测方法的研究进展[J]. 食品与发酵科技,2010,46(3):18-21.
- [5] 中华人民共和国卫生部,中国国家标准化管理委员会. 食醋卫生标准: GB 2719-2003[S]. 北京:中国标准出版社,2003.
- [6] 崔彩云,陈国刚,王兴应,等. 哈密瓜果醋发酵工艺的研究[J]. 中国农学通报,2010,26(20):86-89.
- [7] 张庆华,孔令保,朱向东,等. 苹果醋发酵条件的优化研究[J]. 安徽农业科学,2009,37(32):15974-15976,15983.
- [8] 袁美,麻成金,黄群,等. 玉米醋酿造工艺研究[J]. 粮食科技与经济, 2009(5):44-46.
- [9] 毛丽衡,毛永民,王颀,等. 酸枣果醋酒精发酵过程工艺的研究[J]. 食品工业科技,2013,34(16):200-202.
- [10] 唐卿雁,林奇,李永平. 野生番石榴果醋加工工艺条件的优化[J]. 食品工业科技,2012,33(7):211-215.
- [11] 牛广财,严宝冬,朱丹,等. 响应面法优化黑加仑果醋的发酵条件[J]. 食品科学,2012,33(1):157-161.
- [12] 侯爱香. 果醋酿造用优良菌种的选育及果醋饮料的研制[D]. 长沙:湖南农业大学,2007.
- [13] 薛永恒,刘邻涓. 猕猴桃果醋及其果醋饮料的研究[J]. 山西食品工业,2001(4):23-26.
- [14] 郑宝东,曾绍校,王登飞. 柑桔果醋过滤除菌工艺的研究及橙醋饮料的研制[J]. 食品与机械,2003(4):9-10.
- [15] 王丽丽,仪宏,沙惠琴,等. 醋酸菌生长的营养需求及产酸的促进作用研究[J]. 中国调味品,2004(6):3-6.
- [16] BRANDT M A, SKINNER E Z, COLEMAN J A. Texture profile method [J]. Journal of food science,1963,28(4):404-409.

(上接第 92 页)

- [51] 王超,刘斌,张娜,等. LED 红蓝光照射对采后西芹保鲜效果的影响[J]. 保鲜与加工,2016,16(1):31-34.
- [52] 雷静,张娜,阎瑞香,等. LED 红蓝光照射保持樱桃番茄冷库贮藏品质[J]. 农业工程学报,2016,32(9):248-254.
- [53] SEO J M, ARASU M V, KIM Y B, et al. Phenylalanine and LED lights en-

hance phenolic compound production in Tartary buckwheat sprouts [J]. Food chemistry, 2015,177:204-213.

- [54] MA G, ZHANG L C, KATO M, et al. Effect of the combination of ethylene and red LED light irradiation on carotenoid accumulation and carotenogenic gene expression in the flavedo of citrus fruit [J]. Postharvest biology and technology, 2015,99:99-104.