技 術 報 告

食酢の通気製造装置について†

中 山 重 徳*

Equipments for Vinegar Production by Aeration

SHIGENORI NAKAYAMA*

This study was carried out to improve the vinegar production for a small or middle-scale factory. Results obtained were as follows: 1) For a small-scale factory a 200 L fermentor was sufficient for the production of vinegar. The average velocity of acid formation was 0.14 g/100 ml/hour and necessary amount of aeration was 2.4 times of theoretical value. 2) For a middle-scale factory a 1,000 L fermentor was suitable. This equipment gave satisfactory result concerning the velocity of acid formation as well as acetification ratio from ethanol. 3) The aeration method for producing vinegar had advantages in respect to utilization ratio of ethanol in mash, and saving the space for the production.

(Received Jan. 30, 1980)

食酢業界では現在合理化への努力が続けられているが、特に、静置発酵法の短所である発酵期間が長くなる点や占有面積が大きいことなどは解決しなければならない。このとに対する創意工夫^{1)~8)}が数多く発表されている。

そのほとんどは、原理的にみて S (食酢醪の表面積) $\times$ T (発酵日数) $= K$ (定数)⁹⁾ に従えば、 S を拡大することにより生産性が向上する。この S の拡大のためには食酢醪に人為的な通気を行えばよいわけである。この原理による多くの通気攪拌装置が開発されているが、食酢製造業の大部分を占める中小企業にとって利用し難い面も多々ある。

そこで、これらの企業でも十分に採用できる食酢の通気製造装置を考案し、中間プラントを試作したところ、現場の規模で利用できる知見を得たので、その概要を報告する。

実 験 方 法

1. 実験装置

全容量 20L、攪拌翼直径 44 mm、培養槽直径 210mm のガラス製桌上型ジャーフアメンター (丸菱理化学装置研究所製) に食酢醪 14.0 L を用いた。

2. 酢酸発酵の条件

既報¹⁰⁾ に準じた食酢醪を用い $30 \pm 1^\circ\text{C}$ で、前培養した *Acetobacter aceti* sp. をシード ($10^3/\text{ml}$) として使用した。

3. 分析方法

食酢の一般成分の分析方法¹¹⁾ に準じた。

(1) 平均酢酸生成速度: 酢酸発酵における対数増殖期の 1 時間当りの平均酢酸生成量を食酢醪 100 ml について算出した。

(2) 酢化率: アルコール 1 g から酢酸発酵によって生

† 食酢に関する研究 (第 10 報) (前報文献 15) Studies on Vinegar (Part X).

* 香川県発酵食品試験場 高松分場 (〒761 高松市郷東町 587-1) Fermentative Food Experimental Station of Kagawa-ken, Takamatsu Branch. 587-1, Gohto-cho, Takamatsu, 761

じた酢酸量との比較である。すなわち、 $[\text{生成酢酸量 (g)}/\text{アルコール量 (g)}] \times 100$ を指す。

(3) アルコール損失率: アルコール 1g から酢酸 1.303g が生成する理論値と実際の酢酸収量との比較、すなわち、 $[\text{酢酸収量 (g)}/\text{アルコール (g)}] \times 1.303 \times 100$ を指す。

4. 通気製造装置の設計と製作

HUMPHREY¹²⁾ による槽型製造装置の標準寸法と標準操作条件のもとに 200L 容の通気製造装置を試作し、現場的検討を行った。

5. 工場占有面積の比較

静置および通気発酵法によって酸量 5.0% の食酢を年間 180 kl (1,000 石) 生産する場合における食酢製造槽の工場内での占有面積を比較した。静置発酵法では 3.6 kl 容 (20石) の木桶を用いた。また、通気発酵法においては 1,000L 容の通気製造装置を使用した。

実験結果および考察

1. 回転翼回転数と酢化率

通気量は一定とし、回転翼回転数を変えて酢酸発酵を行い、平均酢酸生成速度、酢化率およびアルコール損失率を求めた結果をに示した。

この結果、 $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} + \text{O}_2 = \text{CH}_3\text{COOH} + \text{H}_2\text{O}$ から理論的酸素必要量を算出すると、理論的酸素必要量 = 平均酢酸生成速度 (g/100 ml/hr) $\times 22.4 \text{ L}/60.05 \times 1,000 \text{ (ml/L)}/100 \times \text{食酢容量 (L)} = \text{平均酢酸生成速度} \times 3.73 \times \text{食酢容量 (L)}$ となる。ただし、標準状態の値である。

最高の平均酢酸生成速度が 0.14 g/100 ml/hr であったので、 $0.14 \text{ g/100 ml/hr} \times 3.73 \times 1 = 0.522 \text{ L/L}$ となり、所要空気量に換算すると、 $0.522/0.21 = 2.485 \text{ L/hr}$ となる。即ち、通気法の酢酸発酵で理論値と同量の通気を行う場合には、高速回転とすることが必要条件の一つであることが分った。

2. 通気量と酢化率

平均酢酸生成速度を最高の 0.14 g/100 ml/hr に維持して、攪拌翼回転を 300—1,200 rpm, 通気量を 2.5—10.0 L/L/hr に変動させたときの酢化率およびアルコール損失率を Table 2 に示した。

Table 2 から、酢化率を最高に維持し、アルコール損失率を最小限に止め、平均酢酸生成速度を満足する水準に保つための条件は、高速回転で少量通気が望ましいことが分った。

そこで、上述の 20L ジャーファメンターでの検討結果をもとに、200L 容ステンレス製 (JIS 規格 316³¹²⁾) タンクに攪拌機、邪魔板、空気吹込装置を備えた装置を設計製作した (Fig. 1)。

Fig. 1 において、D をスパージャの直径、T をタンクの直径、W を邪魔板の幅、L をタンクの深さとした場合、 $D/T=0.2$, $W/T=0.13$, $L/T=1.3$ 程度とし、また、通気時攪拌消費動力は 0.25 HP/140L, スパージャは気泡の径が 1.0—1.5 mm の範囲になるようにした。

この 200L 容の食酢の通気製造装置に食酢 140L を用い通気量と酢化率の関係を検討した結果を Table 3 に示した。この結果から平均酢酸生成速度 0.14 g/100

Table 1 Relation between revolution of paddle and acetification ratio

Rev. of paddle (rpm)	Aeration vol (L/L/hr)	Mean of speed of acid formation (g/100 ml/hr)	Acetification ratio (%)	Loss of ethanol (%)
300	2.5	0.07	88.7	9.9
500	2.5	0.09	90.2	8.4
800	2.5	0.12	93.4	6.2
1,000	2.5	0.13	95.1	4.5
1,200	2.5	0.14	96.5	3.1

Table 2 Relation between aeration volume and acetification ratio (1)

Rev. of paddle (rpm)	Aeration vol (L/L/hr)	Mean of speed of acid formation (g/100 ml/hr)	Acetification ratio (%)	Loss of ethanol (%)
300	10.0	0.14	73.2	23.6
500	9.0	0.14	79.2	17.5
800	7.5	0.14	91.4	7.9
1,000	5.0	0.14	93.4	6.5
1,200	2.5	0.14	96.5	3.1

Fig. 1 Design of a fermentor for vinegar production by aeration process (200L)

(a) Paddle (b) Sparger (c) Baffle plate

ml/hr を維持するには 6.0 L/L/hr の通気が必要であった。すなわち、理論的空気必要量に対し $6.0/2.5=2.4$ 倍量の通気の必要ことが明らかとなった。

従って、200 L タンクに食酢醪を 140 L 用いたので $6.0 \text{ L} \times 140/140 \text{ L/hr}$ となり、1 分間当り 14 L/140 L/min, 即ち、0.1 vol/vol/min の通気をすればよい。

次いで、この 200 L タンクでの結果に基づき、 $D/T=0.2$ より、240 mm/1,200 mm, 通気時攪拌消費動力 $(0.25/140) \times 800 \approx 1.43 \approx 1.5 \text{ HP}$ となるような 1,000 L 容の食酢の通気製造装置を製作した (Fig. 2)。この装置を用いて現場的に食酢製造を行った結果、酢化率は理論値に対して 96.6% となった。また、その際の酢酸発酵経過は Fig. 3 に示した。

本装置は現場的にみて十分に採用可能なものと考えられた。また、食酢製造では通常の静置発酵法において $0.1-0.15 \text{ g/100 ml/24 hr}$ の平均酢酸生成速度⁹⁾ であるが、この方法では 0.14 g/100 ml/hr であり、22-33 倍

の速さで食酢製造が可能であった。さらに、アルコールの酢酸への変換率、つまり酢化率が静置法においては平均 80-84% であるが、それより 10-15% 程度収率がよく、資源の有効利用も可能であった。

3. 発酵装置の占有面積の比較

工場における発酵槽の占有面積は、3.6 kl 桶を用いて食酢を造る場合 1 サイクル 100 日間が静置法の通例であるので、桶の使用回転率は 3.6 回/年となる。また、種酢への返還割合が 40% であるから、年間 180 kl とすると $180 \times 1.4 = 252 \text{ kL}$ の食酢を生産しなければならない。従って桶の必要数量は 3.6 kL 桶に 75% の食酢醪を仕込

むので $252 \div (3.6 \times 0.75) = 93.3 \approx 94$ 個となる。桶 1 個の占有面積は $0.85^2 \times \pi \approx 2.3 \text{ m}^2$, 従って、 $2.3 \times (94 \div 3.6) \approx 60 \text{ m}^2$, これに桶が円形であるので約 25% の遊休面積を算出すると、 $60 \times 1.25 = 75 \text{ m}^2$ が静置法の場合の必要な最小面積となる。

これに対し、通気法での平均酢酸生成速度の最高が 0.14 g/100 ml/hr から $0.14 \text{ g} \times 24/100 \text{ ml/24 hr}$, すなわち、 3.36 g/100 ml/日 , 食酢醪のタンク内滞留時間はアルコール濃度が 4.3 g/100 ml であるので $4.3/3.36 \approx 1.28 \text{ 日} \approx 31 \text{ hr}$ となる。1 年間の稼働日数を 300 日とすると $180 \text{ kL} \div 300 = 0.6 \text{ kL}$ となり、これに種酢への返還割合 40% を計算すると、1 日当りの製造能力は $0.6 \times 1.4 = 0.84 \text{ hL}$ が必要となる。1,000 L タンクに 700 L の食酢醪を用い 31 時間で 700 L の食酢が生産され、静置法に比べ酢化率がすぐれているので十分に 180 kL/年の食酢が製造できる。これらの計算のもとに、このタンクの占有面積を求めると、 $0.95^2 \times \pi = 3.0 \text{ m}^2$, これに

Table 3 Relation between aeration volume and acetification ratio (2)

Rev. of paddle (rpm)	Aeration vol (L/L/hr)	Mean of speed of acid formation (g/100 ml/hr)	Ratio of acetification to the theoretical yield* (%)
1,200	0.6	0.07	85.4
1,200	3.0	0.10	90.9
1,200	3.6	0.13	95.5
1,200	6.0	0.14	96.6
1,200	12.0	0.14	93.2

* The theoretical yield calculated by the equation:

is 1.303 of acetic acid from 1.0 g of ethyl alcohol

Fig. 2 A 1,000 L fermentor for vinegar production

The agitator assembly consists of a shaft, paddle, bearing arrangements, aseptic seals and the motor drive. The shaft is designed so as to avoid whipping at high speed and for easy disconnection from the drive to permit cleaning

Fig. 3 Increase of acetic acid production aeration process

Agitation: 1,200 rpm
Aeration: 0.1 vol/vol/min.
Fermentation temperature 30±1°C
Dissolved oxygen was measured with a DO meter (Toshiba-Beckmann 777 type)

遊休面積 25% を加える 3.75 m² あればよい。

従って、静置法における占有面積と比較すれば 75/3.75=20 すなわち、1/20 の面積でよいことが明らかになった。

要 約

食酢製造法の合理化の一方策として、中小企業に適すると考えられる食酢の通気製造装置を設計、製作した。

(1) 小企業では 200 L 容の装置で十分であり、その際の平均酢酸生成速度は 0.14 g/100 ml/hr であった。

(2) 中企業では 1,000 L 容の装置が適当である。また、この時の平均酢酸生成速度は 0.14 g/100 ml/hr、酢化率は 96.6% とよい結果であった。

(3) 酢化率、食酢醪のアルコールの有効利用、装置の占有面積などを考えると通気製造が食酢製造において有利であった。

終りに臨み、本稿をご校閲賜わった香川大学名誉教授 川村信一郎博士、また、機械製作に関して種々ご指導頂きました四国林田機械工業(株)田上典生社長、現場試験に際しご協力下さいました(株)神崎屋、(有)北村商会、(株)一梅酢、(合)山屋、高知県食酢企業組合の各位に感謝致します。

文 献

- 1) LOWY, J.: *Food Ind.*, **13**, 47 (1941).
- 2) 朝井勇宣・高井政民: 醸工, **35**, 229 (1957).
- 3) COHEE, R.F. and STEFFEN, C.: *Food Eng.*, **31**, 58 (1959).
- 4) 中山武吉: 食酢技術研究会 (近畿食酢協会), (大阪市), (1961).
- 5) 住江金之・米山 平・柳田藤治: 東京農業大学創立 70 年記念論文集 (東京農大), p. 243 (1961).
- 6) 稲葉見敬: 特許公報, 昭和 38-7090 (1963).
- 7) NICKOL, G.B., CORNER, H.A., MARION, D. and HILDEBRANDT, F.M.: *Vinegar Newslett.* (U.S. Ind. Chem. Co.), No. 43, p. 2 (1964).
- 8) 正井博之・山田弘毅・西村幹夫・大森 廉: 公開特許, 昭和 51-151399 (1976).
- 9) 中山重徳: 醸協誌, **31**, 24 (1973).
- 10) 中山重徳: 日食工誌, **27**, 288 (1980).
- 11) 山田正一: 増刊醸造分析法, (産業図書), p. 235 (1956).
- 12) HUMPHREY, A.E.: 醸工, **42**, 334 (1964).
- 13) ステンレス協会: ステンレス溶接士のための作業教本, (産報), p. 18 (1972).
- 14) 中山重徳: 食酢技術講習会, (岡山県), (岡山市), (1975).
- 15) 中山重徳: 日食工誌, 投稿中 (昭和 55 年 1 月 30 日受理)