

桃红葡萄酒酒精发酵密度变化规律 数学模型的建立*

高 畅

(西北农林科技大学 葡萄酒学院, 陕西 杨凌 712100)

[摘 要] 在分析桃红葡萄酒酒精发酵过程中密度实测数据的基础上, 建立了桃红葡萄酒酒精发酵过程密度变化规律的数学模型。当葡萄原料含糖量低于12% 酒度要求时, 加糖操作可将桃红葡萄酒酒精发酵密度随时间变化的曲线分为2段, 用回归分析法分析结果表明, 加糖前密度随时间的变化规律可用二次方程描述, 加糖后密度随时间的变化规律可用对数方程描述。

[关键词] 桃红葡萄酒; 酒精发酵; 密度; 数学模型

[中图分类号] TS262.6; O29

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2005)01-0096-03

葡萄酒发酵是葡萄汁在酵母菌作用下生成葡萄酒的生化反应过程, 在此过程中, 发酵液酒精浓度增加及糖的消耗是衡量发酵进程最准确、直观的参数。在实验室可方便地测定葡萄酒发酵中糖和酒精的浓度, 但实际生产中由于发酵量大, 测定糖和酒精浓度的工作量大且费时、不方便。目前, 葡萄酒生产中还没有快速便捷地测定糖和酒精成分的方法, 而普遍用密度间接反映其变化, 通过监测发酵液的密度, 来判断发酵过程正常与否。为此, 作者在对桃红葡萄酒发酵过程中密度变化数据进行分析的基础上, 建立

SO₂ 果胶酶

葡萄原料 除梗破碎

浸渍 24 h

葡萄汁低温澄清

酒精发酵

原酒

1.2.2 试验方法 试验进行了多个发酵批次, 不同批次原料的含糖量略有差别, 发酵液密度为1.054~1.063 g/L。原料处理过程为: 在除梗、破碎葡萄中加入亚硫酸使葡萄汁浓度达30 mg/L; 加入果胶酶, 浸渍24 h, 分离葡萄汁, 接入经活化处理的酵母菌进行酒精发酵, 发酵温度22~23℃; 每间隔2 h用酒精温度计测定发酵液温度, 同时用普通比重计测定发酵液比重, 再将比重换算为对应的密度, 记录发酵时间。当密度降低到992~997 g/L时, 用滴定法测定残糖, 并测定总酸和挥发酸。当残糖小于2 g/L时, 酒精发酵结束, 发酵产物为桃红葡萄酒。

一般情况下, 发酵液中糖浓度为17~18 g/L, 可

了密度变化规律数学模型。该模型有助于了解发酵过程, 并便于控制、优化发酵过程。

1 材料与方法

1.1 材料

云南弥勒县产黑虎香葡萄, 葡萄酒酵母, 果胶酶, 白砂糖。

1.2 方法

1.2.1 工艺流程 桃红葡萄酒发酵工艺流程如下^[1]:

供冷 酵母 供冷 加糖

生成体积分数1%的酒精, 发酵结束时酒精度要求为11%~12%。葡萄原料的潜在酒度受葡萄品种、栽培措施、气候、土壤、日照、有效积温等因素的影响。当原料的含糖量低于12%酒精度要求时, 在发酵过程中需适时、适量添加砂糖。本试验根据工艺要求及每批次葡萄原料含糖量计算需添加砂糖的量, 在发酵进行约40~50 h时向发酵液中补足所需的糖。

2 结果与分析

对不同批次发酵试验数据进行拟合, 可得到桃红葡萄酒酒精发酵密度变化曲线(图1)。分析该曲线的变化趋势, 可得到密度变化规律。

* [收稿日期] 2004-01-08

[基金项目] 陕西省科技攻关项目(2002K08-G12)

[作者简介] 高畅(1957-), 女, 辽宁沈阳人, 副教授, 主要从事葡萄酒工程研究。

2.1 葡萄酒发酵密度变化规律

由图1可知,酵母菌接种后4 h内发酵液密度下降极小,用常规的比重计几乎测不出变化,如图1中ab段。此期为酵母菌繁殖的初期,酵母菌处于有氧呼吸状态,酵母菌体的世代时间为2 h,此时葡萄糖完全氧化,1 mol葡萄糖氧化释放出6 mol CO₂和6 mol水,并生成大量的能量^[2]。

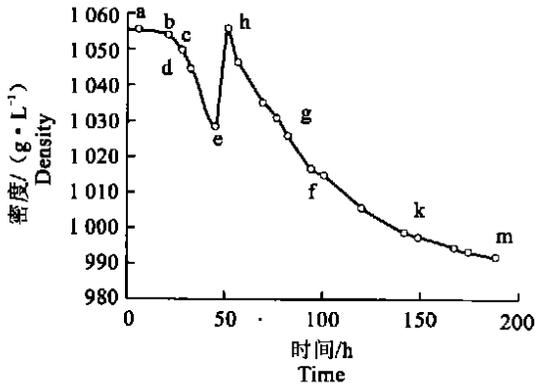


图1 桃红葡萄酒发酵曲线

Fig. 1 Curve of wine fermentation

接种后约10 h(图1中bc段),酵母菌经过5~6个世代,发酵液实测密度下降很小,为0.001~0.002 g/L。密度虽下降,但几乎无酒精生成。据报道^[3,4],此期酵母菌处于有氧呼吸阶段,用于氧化的葡萄糖量很少,通常只有约1%的葡萄糖用于构成细胞成分,酵母细胞繁殖基本达到动态平衡。

此后有一段密度下降稍快阶段(图1中cd段),密度下降约5~10 g/L,此时有少量的葡萄糖转化为酒精。此期酵母菌在厌氧条件下开始进行对葡萄糖的分解代谢,底物葡萄糖从完全氧化转化到氧化与厌氧分解代谢交替进行的阶段^[5]。

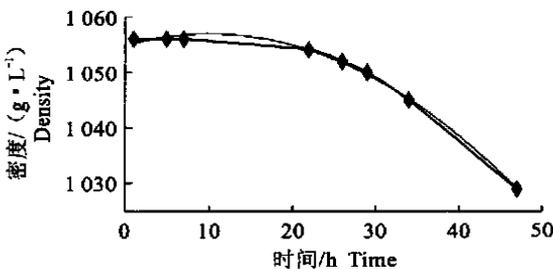


图2 桃红葡萄酒加糖前发酵曲线

Fig. 2 Curve of wine fermentation after replenishing surge

$$Y_d = at^2 + bt + c, t_0 \leq t < t_1 \quad (2)$$

式中, t 为发酵时间(h); t_1 为接入酵母菌到加糖时的

随后发酵进入最旺盛阶段,见图1中de段及hgk段。密度开始以0.001~0.0015 g/(L·h)的速率下降,对应的含糖量平均下降速率约2.5 g/(L·h),最大下降速率达4 g/(L·h)。根据发酵动力学原理,对于酒精发酵,葡萄糖仅用于使分解代谢时葡萄糖的消耗速率与产物酒精的生成速率成正比。密度下降快说明糖的消耗速率和产物的生成速率均较快。

最后发酵进入衰减阶段(图1中km段),发酵速度明显减慢,曲线平缓。密度下降到992 g/L,发酵结束。

2.2 葡萄酒发酵密度变化规律的数学模型

当原料的潜在酒度能够达到要求时,葡萄酒发酵类型属典型的分批发酵。当原料的潜在酒度达不到要求时,在葡萄酒发酵过程中加糖,则属分批补料发酵。对于酿酒过程中正常的密度变化,人为加糖是一种外界的扰动,发酵液密度从下降变为突然上升。当加糖完成后,扰动消除,密度又呈正常的下降趋势。从本试验发酵曲线(图1)可见,密度的变化可分加糖前和加糖后2段表示。

2.2.1 桃红葡萄酒发酵初期密度变化情况 接种后的酵母繁殖阶段(如4 h内)发酵液密度变化很小,可近似认为密度基本不变。

$$Y_d = c \text{ 或 } dY_d/dt = 0, 0 \leq t < t_0 \quad (1)$$

式中, Y_d 为发酵液密度函数; c 为葡萄汁的原始密度,对于特定的发酵批次和葡萄原料,密度为常数; t_0 为接入酵母菌至密度开始发生变化的时间(h)。

2.2.2 加糖前发酵液密度变化规律数学模型 对桃红葡萄酒发酵加糖前密度随时间变化的数据进行拟合(图2),得二次回归方程为:

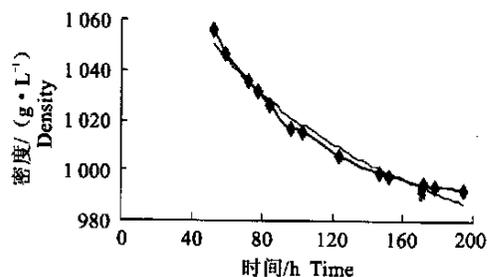


图3 桃红葡萄酒加糖后发酵曲线

Fig. 3 Curve of wine fermentation after replenishing surge

时间(h); a, b, c 均为系数。对该模型进行显著性检验,结果 $F = 18.77862$ ($F_{0.01} = 12.25$), $R^2 =$

0.870 549, 表明方程精度较高。不同的桃红葡萄酒发酵批次, 从发酵启动到加糖前得到的密度随时间的变化规律均为二次曲线。

2.2.3 加糖后密度变化规律数学模型 将加糖后密度与时间数据作散点图(如图3), 结果为近似对数曲线, 用对数函数进行拟合, 回归方程为:

$$Y_d = d + e \ln t, t_1 < t < t_2 \quad (3)$$

式中, d, e 均为系数; t_2 为桃红葡萄酒发酵结束时间(h)。对该模型进行显著性检验, 结果 $F = 104.9903$ ($F_{0.01} = 9.33$), $R^2 = 0.90516$, 表示方程精度较高。

3 结论与讨论

3.1 结论

(1) 葡萄汁接种后的4 h 内为酵母繁殖期, 酵母菌处于有氧呼吸状态, 密度下降极小。

(2) 葡萄汁含糖量低于12% 酒度时, 加糖前密度随时间变化规律为二次方程 $Y_d = at^2 + bt + c$; 加糖后密度变化规律可用对数方程 $Y_d = d + e \ln t$ 描述。

3.2 讨论

发酵动力学阐明了菌体生长速率与底物消耗速率、目的产物浓度与底物浓度、目的产物浓度与菌体生长速率之间的内在关系, 但在葡萄酒生产实际中

不实用, 只有密度测量是最便捷的。

数学模型是对对象进行控制的前提和基础。在整个发酵过程中始终存在着密度下降速率和酒精转化率最佳的问题, 在相同的底物浓度、不同的环境下, 酒精生成量在一定范围内有高低之分。酵母菌生存环境条件包括接入酵母菌种类、接种量、接种时间、菌体活力、葡萄汁原始含糖量、补料时间的确定、发酵温度、发酵过程氧气摄入量、循环倒罐时间等, 都是被控参数, 改变其中的任何参数, 都可能对密度变化产生不同程度的影响, 可通过改变发酵环境因素来控制发酵。

对密度变化的影响因素集中在模型的系数 a, b, c, d, e 上。通过控制环境因素, 可得到不同条件下系数的多组取值, 从中选择最佳值, 这就是发酵的优化控制, 是通过糖的消耗速率、酒精生成率、葡萄原料香气(果香)在酒中的保存量等一系列指标反映的, 其中糖的消耗速率、酒精生成率的综合作用结果就是密度下降速率。

桃红葡萄酒发酵液密度变化规律数学模型的建立, 对于控制及优化发酵, 改变以往被动记录发酵过程的局面具有积极的现实意义。

[参考文献]

- [1] 李 华 现代葡萄酒工艺学[M]. 西安: 陕西人民出版社, 2001. 121- 123
- [2] 陈思芸 酵母的生物化学[M]. 济南: 山东科学技术出版社, 1990. 292
- [3] [日]合叶修一, 永井史郎 生物化学工程——反应动力学[M]. 胡章助译. 北京: 化学工业出版社, 1984. 84; 139- 140; 152
- [4] 顾国贤 酿造酒工艺学[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 1999. 190- 192
- [5] 贾士儒 生物反应工程原理[M]. 天津: 南开大学出版社, 1986. 118; 136

Building of mathematic model of density variation during pink wine alcohol fermentation

GAO Chang

(College of Enology, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract Based on the analysis of actual data of density during fermentation, the mathematic model of density changes during pink wine alcohol fermentation was established. The manipulation of sugar can divide the curve of pink wine alcohol fermentation density with the changes of time into two parts when the sugar content of raw material-grape is lower than 12%. The regression analysis results showed that quadrature equation and logarithmic equation can be used to describe changes of density with changes of time before and after replenishing sugar respectively.

Key words: pink wine; alcohol fermentation; density; mathematic model