

基于黏度研究清香型白酒中乙醇-水缔合行为

乔 华^{1,2,3}, 马燕红², 赵振午¹, 张生万^{1,*}

(1.山西大学生命科学学院, 山西 太原 030006; 2.山西大学化学化工学院, 山西 太原 030006;

3.山西医科大学基础医学院, 山西 太原 030001)

摘 要: 以不同体积分数的乙醇水溶液为模型白酒, 系统考察了酒度(乙醇体积分数)、贮存时间及汾酒中主要微量成分对模型白酒黏度的影响, 以此来揭示清香型白酒中乙醇和水的缔合行为, 为进一步探讨白酒陈化机理提供理论依据, 同时考察汾酒的黏度随酒度及贮存时间的变化规律。结果表明: 清香型白酒中乙醇-水缔合强度与其中的微量成分有一定的关系, 但决定其缔合强度的主要影响因素是酒度。

关键词: 清香型白酒; 黏度; 乙醇-水缔合; 氢键; 汾酒

Investigation Based on Viscosity of the Association Behavior of Ethanol and Water in Fen-flavor Liquor

QIAO Hua^{1,2,3}, MA Yan-hong², ZHAO Zhen-wu¹, ZHANG Sheng-wan^{1,*}

(1. College of Life Science, Shanxi University, Taiyuan 030006, China; 2. College of Chemistry and Chemical Engineering, Shanxi University, Taiyuan 030006, China; 3. Basic Medical College, Shanxi Medical University, Taiyuan 030001, China)

Abstract: Aqueous ethanol solutions at different concentrations were used as the model liquors to explore the effects of alcohol concentration, storage time and major trace flavor components on the viscosity of Fen-flavor liquor and the association behavior between alcohol and water with the aim of providing a theoretical reference for further exploring aging mechanisms of Chinese liquor. Results indicated that trace elements in Fen-flavor liquor had certain impacts on the strength of ethanol-water association, but the major affecting factor was ethanol concentration.

Key words: Fen-flavor liquor; viscosity; ethanol-water association; hydrogen bonding; Fenjiu liquor

中图分类号: TS262.32

文献标识码: A

文章编号: 1002-6630(2011)15-0014-06

新酒生冲暴辣, 老酒绵软柔和, 说明白酒在贮存过程中发生了重要的物理化学变化, 基于这些物理化学变化行为, 人们提出了所谓的“酯化说”、“缔合说”等陈酿机理^[1]。“酯化说”认为白酒在贮存过程中, 醇氧化成醛, 醛再氧化成酸, 酸与醇可结合成酯, 使酒质变好; 而“缔合说”则认为, 新酒中游离的乙醇分子较多, 对感官的刺激性较大, 口感欠佳, 白酒在贮存过程中, 水和乙醇间有较强的缔合能力, 通过缔合作用构成新的分子缔合群^[2], 使更多的游离乙醇分子受到束缚, 从而降低了酒对味觉器官的刺激作用, 饮酒时就会感到柔和、刺激性小。

关于“缔合说”, 前人做了大量的研究工作。全建波等^[3]的体积收缩量法和紫外光谱研究、王夺元等^[4]的质子核磁共振(¹H NMR)研究认为乙醇-水的混合体积

比在 60% 附近时形成了环状三聚体缔合结构, 周恒刚^[5]的差示扫描量热法、曾新安等^[6]的红外光谱法及朱拓^[7]的荧光光谱研究认为白酒中乙醇-水分子间氢键的缔合强度随贮存时间的延长而增强, Nose 等^[8]采用 ¹H NMR 法对威士忌酒中乙醇-水缔合强度的影响因素进行研究, 发现从橡木桶中浸提的有机酸和酚类物质对氢键缔合强度影响很大, 而贮存时间对其没有影响。为此, 探明影响白酒中乙醇-水缔合行为的主要因素, 对揭示白酒陈化机理具有重要的意义。

黏度是表征氢键缔合强度的重要参数, 氢键缔合强度增大, 则黏度增大^[9], 因而可以通过考察体系黏度的变化来研究体系中氢键缔合强度的变化规律。白酒是一复杂体系, 其含量 98% 以上的是乙醇和水, 1%~2% 的是微量成分, 且贮存期间微量成分的含量及量比关系在

收稿日期: 2010-12-06

基金项目: 山西省回国留学人员科研项目(200902); 山西省山西大学研究生优秀创新项目(20093029)

作者简介: 乔华(1982—), 女, 讲师, 博士研究生, 研究方向为食品化学。E-mail: qiaoh0712@yahoo.com

* 通信作者: 张生万(1955—), 男, 教授, 学士, 研究方向为食品科学、化学计量学、药物合成。

E-mail: zswan@sxu.edu.cn

不断发生变化,因而可以推断影响白酒黏度的因素主要有三方面:酒度、贮存时间及酒中微量成分。清香型白酒是中国白酒的重要分支,因此对其中的乙醇-水缔合行为进行研究具有积极的意义。本实验以不同体积分数的乙醇水溶液作为模型白酒,系统考察酒度、贮存时间及汾酒(清香型白酒的典型代表)中的主要微量成分对模型白酒黏度的影响,以此来揭示清香型白酒中乙醇-水的缔合行为;同时考察汾酒的黏度随酒度及贮存时间的变化规律,以期为进一步揭示白酒老熟行为、探讨白酒陈化机理提供重要的理论依据。

1 材料与amp;方法

1.1 材料与试剂

38°、45°、53°及原度(65°)汾酒由汾酒厂提供。

无水乙醇按文献[10]方法制成绝对无水乙醇;乙酸、乳酸、乙酸乙酯、乳酸乙酯、甲醇、正丙醇、异丁醇、异戊醇、乙醛、苯甲醛等均为分析纯;实验用水为二次蒸馏水;

1.2 仪器与设备

GC-2010 气相色谱仪(附 FID 检测器) 日本岛津公司; BP-21 FFAP 毛细管色谱柱(25m × 0.32mm, 0.25 μm) 澳大利亚 SGE 公司; 乌氏黏度计 北京中西泰安技术服务有限公司; 恒温水浴 实验室自制。

1.3 方法

1.3.1 黏度的考察

准确移取 10.0mL 待测液于乌氏黏度计中, 30.0℃恒温水浴恒温 10min, 平行测定 3 次取平均值求得 t 值, 平行测量两次差值不得大于 0.3s。液体的黏度由式(1)[11]计算:

$$\eta = K \rho t \quad (1)$$

式中: η 表示待测液黏度 / (mPa · s); K 为黏度计常数 / (10⁻²cm²); ρ 表示待测液密度 / (g/cm³); t 是液体流动时间 / s。

1.3.2 白酒微量成分分析

1.3.2.1 色谱条件

柱温为程序升温: 初始温度为 45℃, 保持 4min 后, 以 3.5℃/min 程序升温至 230℃, 保持 20min; 载气为高纯氮气。汽化室与检测器温度均为 250℃; 进样量为 1 μL; 分流比为 30:1。

1.3.2.2 测定方法

配制内标混合液: 准确称取内标 1(叔戊醇) 0.0277g、内标 2(乙酸正戊酯) 0.0243g 和内标 3(2-乙基正丁酸) 0.0320g 于盛有约 5mL 60% 乙醇的 10mL 容量瓶中, 用 60% 乙醇定容, 并摇匀。内标混合液中叔戊醇、乙酸正戊酯及 2-乙基正丁酸浓度分别为 2.5752×10^{-2} 、 1.8666×10^{-2} 、 2.7586×10^{-2} mol/L。

参照 FFAP 柱上各组分峰的相对保留值[12]进行定性。

试样分析: 准确吸取 10.0mL 酒样于 10mL 容量瓶中, 准确加入 0.1mL 内标混合液, 摇匀备用。酒样中加入内标量计算及组分含量计算具体步骤参考文献[12]。

1.4 实验设计

1.4.1 模型白酒黏度考察

1.4.1.1 酒度对模型白酒黏度的影响

用二次蒸馏水将绝对无水乙醇稀释成乙醇体积分数分别为: 0.00%、10.00%、20.00%、30.00%、40.00%、50.00%、60.00%、70.00%、80.00%、90.00%、100.00% 的溶液, 作为不同酒度的清香型白酒模型体系(简称模型白酒), 按 1.3.1 节方法测定上述溶液的黏度, 考察酒度对模型白酒黏度的影响。

1.4.1.2 贮存时间对模型白酒黏度的影响

将 1.4.1.1 节不同酒度模型白酒密封保存, 每隔一定时间按 1.3.1 节方法进行黏度测定, 考察贮存时间对模型白酒黏度的影响。

1.4.1.3 白酒中主要微量成分对模型白酒黏度的影响

按 1.3.2 节分析方法对不同酒龄原度汾酒进行分析, 考察相对含量较高的约 10 种微量成分(主要微量成分)随酒龄的变化规律。

配制乙酸浓度为: 0、 1.0×10^{-5} 、 1.0×10^{-4} 、 1.0×10^{-3} 、 1.0×10^{-2} 、 1.0×10^{-1} 、1.0mol/L 的 60% 乙醇-水溶液, 按 1.3.1 节方法分别对其进行黏度测定, 考察乙酸对 60 度模型白酒(乙醇体积分数 60% 的模型白酒)黏度的影响。

乳酸、乙酸乙酯、乳酸乙酯、甲醇、正丙醇、异丁醇、异戊醇、乙醛、苯甲醛对 60 度模型白酒黏度影响的考察方法同乙酸。

在 60% 乙醇-水溶液中准确加入一定量的乙酸、乳酸、乙酸乙酯、乳酸乙酯、甲醇、正丙醇、异丁醇、异戊醇、乙醛、苯甲醛, 配制 5 份模拟白酒: 0、1、3、6、12 月模拟白酒, 5 份模拟白酒中 10 种微量成分含量分别与其在不同酒龄原度汾酒中的含量相同, 同时按 1.3.1 节方法对 5 份模拟白酒进行黏度测定, 考察微量成分对模型白酒黏度的综合影响。

1.4.2 清香型白酒黏度考察结果

按 1.3.1 节方法对不同酒度汾酒的黏度进行测定, 考察酒度对汾酒黏度的影响; 将上述溶液密封保存, 每隔一定时间进行黏度测定, 考察贮存时间对汾酒黏度的影响。

2 结果与分析

2.1 模型白酒黏度考察结果

2.1.1 酒度对模型白酒黏度的影响

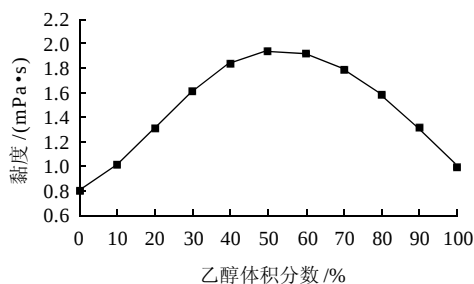


图1 酒度对模型白酒黏度的影响

Fig.1 Effect of ethanol concentration on the viscosity of model liquor

由图1可以看出,随酒度逐渐增大,体系的黏度先增大后减小,在乙醇体积分数50%~60%时,体系的黏度达到极大值。这是由于乙醇和水都是极性分子,其极性基团羟基易在溶液中形成特有的氢键,在此氢键的作用下,乙醇和水会形成不同于它们各自缔合结构群的新的缔合结构^[3];乙醇体积分数为50%~60%时,形成了较稳定的乙醇-水团簇分子,该缔合结构的缔合强度最强^[4],因而体系的黏度最大。

2.1.2 贮存时间对模型白酒黏度的影响

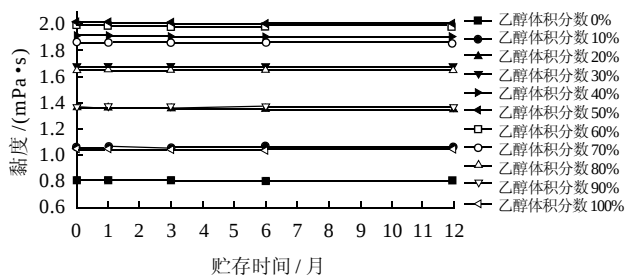


图2 贮存时间对模型白酒黏度的影响

Fig.2 Effect of storage time on the viscosity of model liquor

由图2可以看出,在考察时间1年内,体系的黏度基本不变,由此可见,不同酒度的模型白酒在贮存过程中体系的黏度都不随贮存时间的延长而变化,表明贮存时间对模型白酒中乙醇-水缔合强度没有影响。

2.1.3 白酒中主要微量成分对模型白酒黏度的影响

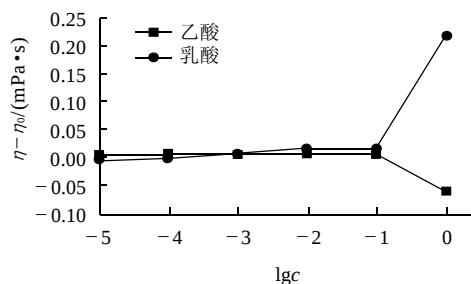
由表1可以看出,在考察时间1年内,原度汾酒中乙酸、乳酸乙酯、乙醛、苯甲醛的含量是随贮存时间的延长而增加,乙酸乙酯的含量是随贮存时间的延长而减小,甲醇、正丙醇、异丁醇、异戊醇的含量基本不随贮存时间的延长而改变。这一结果说明清香型白酒中微量成分的含量及量比关系在不断变化,这是否会对清香型白酒中乙醇-水缔合行为产生影响,实验以60度模型白酒为对象,采用黏度的方法考察这些主要微量成分对模型白酒中乙醇-水缔合强度的影响。

表1 原度汾酒中主要微量成分含量的变化规律

Table 1 Changes in major trace flavor components in Fenjiu liquor with 65% alcohol

化合物名称	0月	1月	3月	6月	12月
乙醛	4.4074	4.7081	4.7639	4.8655	5.0745
乙酸乙酯+乙缩醛	30.9787	30.3386	29.5584	29.1886	28.5053
甲醇	4.7577	4.7273	4.8609	4.7917	4.7476
正丙醇	2.7221	2.7276	2.7803	2.7342	2.7046
异丁醇	2.3144	2.3171	2.3751	2.3714	2.3646
异戊醇	5.4350	5.5154	5.5274	5.5368	5.4281
乳酸乙酯	35.5908	35.8119	39.4173	38.5518	38.1050
乙酸	15.0168	15.8772	16.0977	16.1840	16.5281
苯甲醛	0.1891	0.2124	0.2318	0.2306	0.2250

2.1.3.1 酸对模型白酒黏度的影响



η_0 为60%乙醇-水溶液的黏度; η 为一定浓度乙酸或乳酸60%乙醇-水溶液的黏度; c 为酸的浓度/(mol/L)。

图3 酸对模型白酒黏度的影响

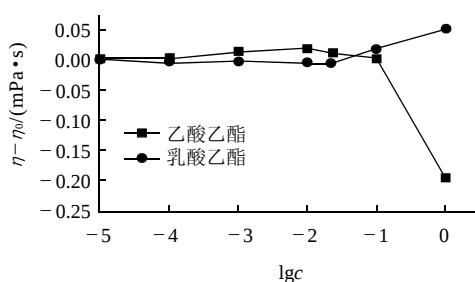
Fig.3 Effects of acids on the viscosity of model liquor

由图3可以看出,乙酸对模型白酒黏度的影响是随其浓度的增大,先增大后减小,乙酸的浓度为 1×10^{-2} mol/L时体系黏度最大,当乙酸含量继续增大时体系黏度反而降低。这可能是因为少量的乙酸解离出质子,能催化含水乙醇溶液中质子间的快速交换,使得氢键缔合强度增强,体系黏度增大;当乙酸浓度大于 1×10^{-2} mol/L时其解离出的质子同乙醇羟基质子间发生交换作用,会破坏体系原有的氢键缔合结构,故体系黏度开始减小^[13]。

乳酸对模型白酒黏度的影响是随其浓度的增大先减小后增大,乳酸的浓度为 1×10^{-5} mol/L时,体系的黏度最小。其原因可能是,乳酸的酸性强解离常数大,微量乳酸解离出的质子就能同乙醇羟基质子间发生交换作用,破坏体系原有缔合结构使体系黏度降低;当其浓度逐渐增大时,乳酸分子间相互作用增强,由于其黏度很大(乳酸黏度24.3390 mPa·s),其自身黏度对体系的贡献大于其对体系氢键缔合结构的破坏作用,因而体系的黏度增大。

2.1.3.2 酯对模型白酒黏度的影响

乳酸乙酯对模型白酒黏度的影响是随其浓度的增大,先减小后增大,乳酸乙酯的浓度在 $3.39 \times 10^{-2} \text{mol/L}$ 附近时,体系的黏度最小。其原因可能是,乳酸乙酯在模型白酒中存在酯化水解平衡,其水解出的微量乳酸会使乙醇-水缔合强度减小,体系黏度降低;当其浓度大于 $3.39 \times 10^{-2} \text{mol/L}$ 时,乳酸乙酯分子间相互作用增强,其自身黏度对体系的贡献开始增大(乳酸乙酯黏度 $2.0484 \text{mPa} \cdot \text{s}$),因而体系的黏度逐渐增大^[14]。



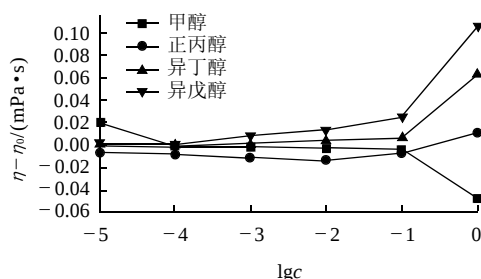
η_0 为 60% 乙醇-水溶液的黏度; η 为一定浓度乙酸乙酯或乳酸乙酯 60% 乙醇-水溶液的黏度; c 为酯的浓度/(mol/L)。

图4 酯对模型白酒黏度的影响

Fig.4 Effects of esters on the viscosity of model liquor

由图4可以看出,乙酸乙酯对模型白酒黏度的影响是随其浓度的增大先增大后减小,乙酸乙酯的浓度达到 $1 \times 10^{-2} \text{mol/L}$ 时,体系的黏度最大。其原因可能是,乙酸乙酯在模型白酒中存在酯化水解平衡,其水解出的乙酸会解离出微量的质子,加快乙醇羟基质子和水质子的交换速率,体系中乙醇-水缔合强度增强,体系黏度增大;当乙酸乙酯的浓度大于 $1 \times 10^{-2} \text{mol/L}$ 时,乙酸乙酯分子间相互作用增强,其自身黏度对体系的贡献大于其对体系氢键缔合结构的增强作用,但由于乙酸乙酯自身黏度较小(乙酸乙酯黏度 $0.4076 \text{mPa} \cdot \text{s}$),因而体系的黏度减小^[14]。

2.1.3.3 醇对模型白酒黏度的影响



η_0 为 60% 乙醇-水溶液的黏度; η 为一定浓度甲醇、正丙醇、异丁醇或异戊醇的 60% 乙醇-水溶液的黏度; c 为醇浓度/(mol/L)。

图5 醇对模型白酒黏度的影响

Fig.5 Effects of alcohols on the viscosity of model liquor

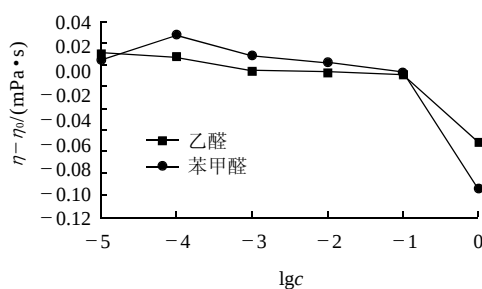
由图5可以看出,甲醇对模型白酒黏度的影响是随

甲醇浓度的增大先增大后减小,当甲醇的浓度为 $1 \times 10^{-5} \text{mol/L}$ 时,体系的黏度最大,其原因可能是,微量的甲醇通过与乙醇-水团簇分子缔合增强了乙醇-水的缔合强度,体系黏度增大;当甲醇浓度大于 $1 \times 10^{-5} \text{mol/L}$ 时,由于其既能与乙醇又能与水缔合破坏原有体系的缔合结构,因而体系的黏度降低,同时其黏度较小(甲醇黏度 $0.5172 \text{mPa} \cdot \text{s}$),其自身黏度对体系的贡献也会使体系黏度减小。

正丙醇和异丁醇对模型白酒黏度影响是随正丙醇和异丁醇浓度的增大先减小后增大,浓度分别为 $1 \times 10^{-2} \text{mol/L}$ 和 $1 \times 10^{-4} \text{mol/L}$ 时,体系的黏度达到最小。其原因可能是,正丙醇和异丁醇分子体积较大,当它们的含量较小时阻碍了乙醇分子与水分子质子交换反应的发生,体系的黏度减小;当它们的含量较高时,正丙醇和异丁醇分子中较长碳链的疏水水合作用会使体系黏度上升^[15],同时正丙醇、异丁醇自身黏度(正丙醇黏度 $1.6885 \text{mPa} \cdot \text{s}$ 、异丁醇黏度 $2.7976 \text{mPa} \cdot \text{s}$)对体系的贡献大于其对体系的氢键缔合破坏作用,也是体系黏度增大的原因之一。

异戊醇对模型白酒黏度的影响是随异戊醇浓度的增大而增大,其可能原因是虽异戊醇分子体积较大阻碍了乙醇分子与水分子质子交换反应的发生,但其黏度较大(异戊醇黏度 $3.1428 \text{mPa} \cdot \text{s}$),且异戊醇分子中较长碳链的疏水水合作用使得体系氢键缔合强度增强^[15],综合作用的结果是微量的异戊醇也会使体系的黏度增大。

2.1.3.4 醛对模型白酒黏度的影响



η_0 为 60% 乙醇-水溶液的黏度; η 为一定浓度乙醛或苯甲醛的 60% 乙醇-水溶液的黏度; c 为醛浓度/(mol/L)。

图6 醛对模型白酒黏度的影响

Fig.6 Effects of aldehydes on the viscosity of model liquor

由图6可以看出,乙醛和苯甲醛对模型白酒黏度的影响是随其浓度的增大先增大后减小,乙醛和苯甲醛浓度分别为 $1 \times 10^{-5} \text{mol/L}$ 和 $1 \times 10^{-4} \text{mol/L}$ 时体系的黏度最大。其原因可能是当它们浓度较小时,微量的醛羰基通过与乙醇-水团簇分子形成氢键增加了乙醇-水团簇分子的稳定性,体系黏度增大;当乙醛和苯甲醛浓度较大时,醛羰基既能与乙醇又能与水形成氢键,对乙醇-水缔合强度的破坏作用导致体系黏度减小^[16]。

2.1.3.5 各微量成分对模型白酒黏度的综合影响

表2 模拟白酒黏度测定结果

Table 2 Viscosity change of simulated liquor during 1 year of storage

时间	0月	1月	3月	6月	12月
黏度/(mPa·s)	1.8961	1.8947	1.8956	1.8950	1.8944

由表2可知, 5份模拟白酒中各微量成分的含量和量比不同, 但其黏度基本不变。

由表1微量成分分析结果可知, 在一年的贮存时间中乙酸的含量由约 $1.50 \times 10^{-2} \text{mol/L}$ 增加到约 $1.65 \times 10^{-2} \text{mol/L}$, 乳酸的浓度在 $1.09 \times 10^{-3} \sim 1.26 \times 10^{-3} \text{mol/L}$ 间变化(参考文献[17]数据); 由图3可知, 在该浓度范围内体系黏度随乙酸含量的增大逐渐增大, 随乳酸含量的改变而改变; 乙酸乙酯的含量由约 $3.10 \times 10^{-2} \text{mol/L}$ 降低到约 $2.85 \times 10^{-2} \text{mol/L}$, 乳酸乙酯的含量由约 $3.56 \times 10^{-2} \text{mol/L}$ 增加到约 $3.81 \times 10^{-2} \text{mol/L}$; 由图4可知, 在该浓度范围内体系的黏度随乙酸乙酯浓度减小而增大, 随乳酸乙酯浓度的增大而增大; 甲醇的浓度在 $4.72 \times 10^{-3} \sim 4.86 \times 10^{-3} \text{mol/L}$ 间变动, 异戊醇的浓度在 $5.42 \times 10^{-3} \sim 5.53 \times 10^{-3} \text{mol/L}$ 间变动, 浓度变化很小, 正丙醇、异丁醇的浓度分别维持在 $2.7 \times 10^{-3} \text{mol/L}$ 和 $2.3 \times 10^{-3} \text{mol/L}$ 附近, 因此甲醇、正丙醇、异丁醇及异戊醇对体系的黏度基本没有影响; 乙醛浓度由约 $4.41 \times 10^{-3} \text{mol/L}$ 增加到约 $5.07 \times 10^{-3} \text{mol/L}$, 苯甲醛的浓度由约 $0.19 \times 10^{-3} \text{mol/L}$ 增加到 $0.22 \times 10^{-3} \text{mol/L}$, 由图6可知, 体系黏度随乙醛浓度的增大而减小, 随苯甲醛浓度的增大而增大。总的来说, 体系黏度随乙酸、乳酸乙酯及苯甲醛含量增大而增大, 随乙酸乙酯含量减小而增大, 随乙醛含量增大而减小, 随乳酸含量的改变而改变; 甲醇、正丙醇、异丁醇及异戊醇对体系黏度基本没有影响; 由表2可知, 这些微量成分对体系黏度的总影响是互相抵消, 因此虽微量成分的含量及量比随贮存时间的延长在不断变化, 但体系的黏度表现为不随贮存时间的延长而改变。从而得出结论, 清香型白酒中的微量成分对模型白酒黏度有一定的影响, 但影响模型白酒中乙醇-水缔合强度的主要因素是酒度而不是贮存时间。

2.2 清香型白酒黏度考察结果

由图7可以看出, 汾酒的黏度随酒度的增加先增大后减小, 酒度为 53° 时汾酒的黏度最大, 这与乙醇-水的混合体积比为 $50\% \sim 60\%$ 时乙醇与水形成了环状三聚体缔合结构, 体系氢键缔合强度最大的结论相吻合^[3-4], 也与乙醇体积分数为 $50\% \sim 60\%$ 时模型白酒黏度最大的结果相一致, 说明酒度对清香型白酒中乙醇-水缔合强度影响很大。

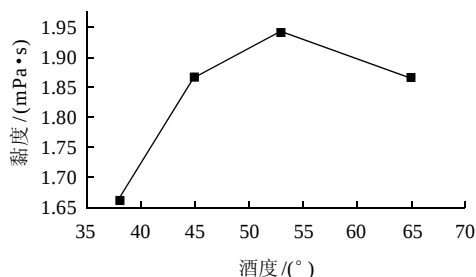


图7 酒度对汾酒黏度的影响

Fig.7 Effect of ethanol concentration on the viscosity of Fenjiu liquor

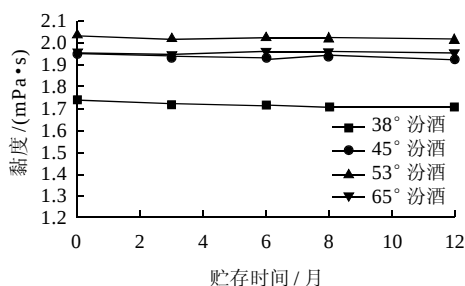


图8 贮存时间对汾酒黏度的影响

Fig.8 Effect of storage time on the viscosity of Fenjiu liquor with different degrees of alcohol

由图8可以看出, 在考察时间1年内, 不同酒度汾酒的黏度基本不变, 说明汾酒中的乙醇-水缔合强度不随贮存时间的延长而改变, 表明汾酒在1年的贮存过程中虽微量成分的含量及量比在不断的变化, 但一些微量成分在减弱乙醇-水缔合强度的同时, 另一些微量成分对乙醇-水缔合强度的增强作用起到了补偿效果, 所以各微量成分综合作用的结果是不改变酒体的氢键缔合强度, 这一结果与考察模型白酒时得到结果相符, 说明贮存时间对清香型白酒中氢键缔合强度没有影响。

黏度作为白酒的一个重要宏观物理性质, 它与白酒的风味表现如口感有着十分密切的联系。白酒的黏度大, 流经舌体口腔时阻力大, 就会感到“醇”和“厚”; 黏度大的酒与舌面接触时停留时间长, 就会产生余味^[18]。市面上销售的国藏汾酒和青花瓷53度酒的特点为酒体醇厚、回味悠长, 这与汾酒的酒度有密切的关系(该酒度时酒体黏度最大)。同时由图8可知, 贮存时间对汾酒的黏度基本没有影响, 但贮存时间对汾酒品质的提升影响很大(“酒是陈的香”), 说明清香型白酒在贮存过程中氢键缔合强度对酒品质的提升作用已可忽略, 而此过程中各微量成分虽此消彼长但它们协调作用的结果才是酒品质提升的关键所在。

3 结论

综上所述, 在考察时间一年内, 通过对影响模型白酒黏度因素的系统考察, 发现汾酒中主要微量成分对

模型白酒中乙醇-水缔合强度有一定的影响,但影响模型白酒中乙醇-水缔合强度的主要因素是酒度而不是贮存时间;在考察汾酒时得到相同的结论,即决定清香型白酒中乙醇-水缔合强度的主要因素是酒度,而与贮存时间无关。这一结论将为进一步揭示白酒老熟行为、探讨白酒陈化机理提供重要的理论和实验依据。

参考文献:

- [1] 赵怀杰,赵丽媛,赵丽川.再谈白酒催陈后的可逆现象[J].酿酒科技,1996,78(6): 41-42.
- [2] AGENO M, FRONTALI C. Viscosity measurements of alcohol-water mixtures and the structure of water[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 1967, 57(4): 856-860.
- [3] 全建波,刘淑玲,芦飞,等.醇水缔合光谱行为的研究[J].酿酒科技,2004,123(3): 83-84.
- [4] 王夺元,何慧珠,张麟华,等.白酒中氢键缔合作用的模型研究[J].化学通报,1985(4): 21-23.
- [5] 周恒刚.泡盛酒的贮存老熟[J].酿酒,1992(1): 6-10.
- [6] 曾新安,高大熊,张本山.电磁场催陈米酒氢键缔合红外光谱分析[J].食品与发酵工业,2001,27(6): 50-53.
- [7] 朱拓.醇类物质光谱学和光子密度波扩散理论研究[D].南京:南京理工大学,2005.
- [8] NOSE A, HOJO M, SUZUKI M, et al. Solute effects on the interaction between water and ethanol in aged whiskey[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2004, 52: 5359-5365.
- [9] ROY M N, SINHA B. Viscous synergy and isentropic compressibility of some monoalkanols and cyclic ethers in water at 298.15 K[J]. Journal of Molecular Liquids, 2007, 133: 89-99.
- [10] 兰州大学,复旦大学化学系有机化学教研室.有机化学实验[M].第2版.北京:高等教育出版社,1994: 315-316.
- [11] PARVEEN S, SHUKLA D, SINGH S, et al. Ultrasonic velocity, density, viscosity and their excess parameters of the binary mixtures of tetrahydrofuran with methanol and o-cresol at varying temperatures[J]. Applied Acoustics, 2009, 70(3): 507-513.
- [12] 沈怡方.白酒生产技术全书[M].北京:中国轻工业出版社,1998: 728-733.
- [13] 王夺元,何慧珠,萧绪玲,等.白酒中氢键缔合作用的研究[J].波谱学杂志,1987,4(1): 1-5.
- [14] SASTRY N V, VALAND M K. Thermodynamics of acrylic ester-organic solvent mixtures. V. viscosities and excess viscosities of alkyl acrylates-l-alcohol binary mixtures at 298.15 and 308.15 K[J]. International Journal of Thermophysics, 1997, 18(6): 1387-1403.
- [15] CHAUHAN S, SYAL V K, CHAUHAN M S, et al. Viscosity studies of some narcotic-analgesic drugs in aqueous-alcoholic mixtures at 25 °C[J]. Journal of Molecular Liquids, 2007, 136: 161-164.
- [16] SANTOSH M S, BHAT D K. Excess molar volumes, viscosity deviations and isentropic compressibility changes in glycylglycine-NiCl₂ aqueous ethanol mixtures[J]. Fluid Phase Equilibria, 2010, 298: 169-172.
- [17] 全建波,刘淑玲,王东新,等.清香型白酒香味成分贮存变化规律的研究[J].酿酒科技,2004,122(2): 35-36.
- [18] 罗莉萍.中国白酒黏度分析[J].中国酿造,2008(21): 87-89.