

基于信息融合的浓香型白酒发酵入窖条件研究

周晓阳^{1a,2}, 姚毅^{1a,2}, 贾金玲^{1b,2}, 陈博^{1a,2}

(1. 四川理工学院 a. 自动化与信息工程学院; b. 计算机学院, 四川 自贡 643000; 2. 人工智能四川省重点实验室, 四川 自贡 643000)

摘要:浓香型白酒的发酵过程几乎不可控,因此入窖条件是白酒发酵重要的参考指标。在研究浓香型白酒入窖条件的基础上,采用了云模型与改进的 D-S 证据理论实现了对白酒发酵的入窖条件定量评估。通过资料和工人的经验验证,首先介绍了对白酒入窖情况影响较大的四种参数,分别为温度、酸度、淀粉含量、水分。通过 Matlab 仿真对入窖情况建立隶属度云模型,使得每一个参数都有其对应的隶属度函数。将已采集的样本参数通过云模型实现各个评判标准的隶属度情况,并利用改进的 D-S 证据理论对样本数据进行分析。经验证,对白酒的入窖状况分析可以达到比较准确的定量分析,大大降低了人工判别的主观性和随机性。

关键词:D-S 证据理论;云模型;入窖条件;信息融合;白酒发酵

中图分类号:TP181

文献标志码:A

引言

浓香型白酒的发酵过程是一个厌氧生物发酵的过程,发酵全程采用固态发酵^[1],且发酵中途不易对窖内参数进行控制^[2]。因此酒醅的入窖条件对于白酒的后期发酵过程至关重要,其决定了最终发酵后的白酒质量。发酵过程中温度、水分、淀粉含量、酸度、粮醅比、用曲量等对白酒的发酵都至关重要。本文主要研究酒醅的入窖情况,因此选取了淀粉含量、水分、酸度、温度四个关键量对酒醅入窖情况作分析并用以指导生产。入窖条件检测系统框图如图 1 所示。

由于不同季节酒醅的发酵程度和适宜条件有所变

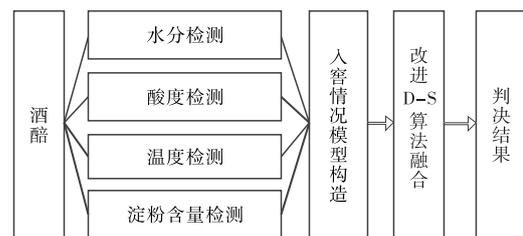


图 1 入窖条件检测系统框图

化,采集到的信息可信度和可行性不一定合乎常规,经过模糊算法处理后可以大大提高数据的可靠性。云模型是一种处理定性概念与定量描述的不确定转换模型,由隶属度转化为满足 D-S 证据理论归一化条件的精确值,再由 D-S 证据理论合成得出决策结果。通过 D-S

收稿日期:2017-09-14

基金项目:四川省教育厅应用基础计划项目(2015JY0208)

作者简介:周晓阳(1992-),男,四川广元人,硕士生,主要从事智能测试方面的研究,(E-mail)zhouxy666@163.com

姚毅(1961-),男,四川自贡人,教授,硕士,主要从事智能测试与专家系统方面的研究。

贾金玲(1959-),女,北京人,教授,硕士,主要从事信号检测与智能信息处理方面的研究。

证据理论融合后的值将能准确反映各个参量变化的情况下对入窖条件的影响程度。

1 白酒发酵入窖条件分析

1.1 温度

浓香型曲酒是固态低温缓慢发酵而成,除热季外,入窖温度在 $18\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 24\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。入窖温度过高,微生物酶的催化作用加速,糖化发酵速率加快,引起升温过快过猛,杂菌生长加速,导致生酸过多,而且在发酵后期酶钝化失活,影响酒的产量和质量^[3]。若入窖温度过低,则会使发酵进行的时间持续更长,进而变相降低了产量(表1)。适宜的入窖温度,能保证糖化发酵缓慢进行,尤其有利于各种复杂香味物质的生化合成,对提高出酒率和曲酒质量有决定意义^[4]。

表1 入窖温度对产量质量的影响

| 入窖温度/ $^{\circ}\text{C}$ | 发酵最高温度/ $^{\circ}\text{C}$ | 出窖糟酸度/ $(\text{mol}\cdot\text{L}^{-1})$ | 产量 | 尝评得分 | 淀粉利用率/% |
|--------------------------|----------------------------|---|-------|------|---------|
| 19.2 | 31 | 2.38 | 129.5 | 16.4 | 64.98 |
| 24.5 | 33 | 3.14 | 93 | 15.7 | 61.73 |

入窖温度适宜时,生酸少,相同的原料下产量更高,酒的品质更好,淀粉利用率高。而入窖温度不适宜时,则生酸多,产量质量均不如前者。

1.2 水分

水为微生物发酵提供必要的环境,对于发酵意义重大。水分过高时酒味淡薄,且使糟子发软现泥,对于发酵极为不利。水分过低时糟子起疙瘩、发烧,对糖化也不利^[5]。入窖水分一般掌握在 $52.5\% \sim 54.5\%$ 为宜。

1.3 酸度

适当的酸度有利于提供微生物所需环境和抑制杂菌的繁殖,有利于增强糊化和糖化作用,促进香味物质的生成,产生酯化作用^[6]。酸度在 $1.2 \sim 1.7$ 为宜。若入窖酸度过高或过低,不利于糖化发酵,也不利于生香功能菌的繁殖、代谢。

1.4 淀粉含量

淀粉含量是酒醅入窖状况的一项重要检测指标。淀粉含量过低,其产出酒的酒味淡薄,过高则影响酒的产量与质量^[7]。淀粉含量在 $18\% \sim 23\%$ 为宜。

2 入窖条件 BPA 的构造

不确定是相对精度的概念,包含模糊性与随机性,模糊性主要指人为主观理解上的不确定性,而随机性反映的是自然规律的不确定性^[8]。云模型是用来表示某个定性概念与其定量表示之间的不确定转换模型^[9],云模型的数字特征用期望 Ex 、熵 En 和超熵 He 这3个值表示,它把模糊性和随机性完全集合在一起,构成定性和定量之间的映射^[10]。其中 Ex 代表定性概念,是概念量化的最典型样本, En 反映了定性概念的不确定性, He 是 En 的不确定性的度量,即熵的熵^[11]。根据生产现场经验可得到入窖情况等级判决,见表2。

表2 入窖条件等级分布

| | 水分/% | 酸度/ $(\text{mol}\cdot\text{L}^{-1})$ | 淀粉/% | 温度/ $^{\circ}\text{C}$ |
|---------|-------|--------------------------------------|-------|------------------------|
| 过低(不适宜) | <52 | <1.2 | <17 | <17 |
| 较低(较适宜) | 52-53 | 1.2-1.4 | 17-20 | 17-19 |
| 适宜 | 53-54 | 1.4-1.6 | 20-23 | 19-21 |
| 较高(较适宜) | 54-55 | 1.6-1.8 | 23-26 | 21-23 |
| 过高(不适宜) | >55 | >1.8 | >26 | >23 |

根据入窖条件检测值可以得到不同分级隶属度的精确值,得到的精确值精度为0.0001时近似为0,同一监测量所对应的等级隶属度之和为1^[12-13]。当精确值的和小于1时,则将差值归结到不确定项,即可满足D-S证据基本概率分配的归一化条件^[14]。根据入窖情况的分布情况,通过Matlab仿真得到酒醅入窖条件中水分、酸度、淀粉含量和温度的隶属度云分布曲线,如图2所示。

某浓香型酒厂采集数据见表3,由入窖条件的基本概率分配函数BPA(Basic Probability Assignment)可知样本一的各参数基本在适宜范围内;样本二的水分略低,其余三项指标均正常;样本三的淀粉含量较低,其余三项参数均适宜;样本四的水分含量与酸度均过高,温度和淀粉含量均适宜。

表3 不同环境下采集的样本数据

| | 水分/% | 酸度/ $(\text{mol}\cdot\text{L}^{-1})$ | 淀粉/% | 温度/ $^{\circ}\text{C}$ |
|-----|-------|--------------------------------------|-------|------------------------|
| 样本一 | 53.54 | 1.57 | 20.17 | 20.1 |
| 样本二 | 52.13 | 1.53 | 21.3 | 19.1 |
| 样本三 | 53.78 | 1.41 | 19.18 | 19.1 |
| 样本四 | 56.21 | 1.94 | 21.02 | 19.2 |

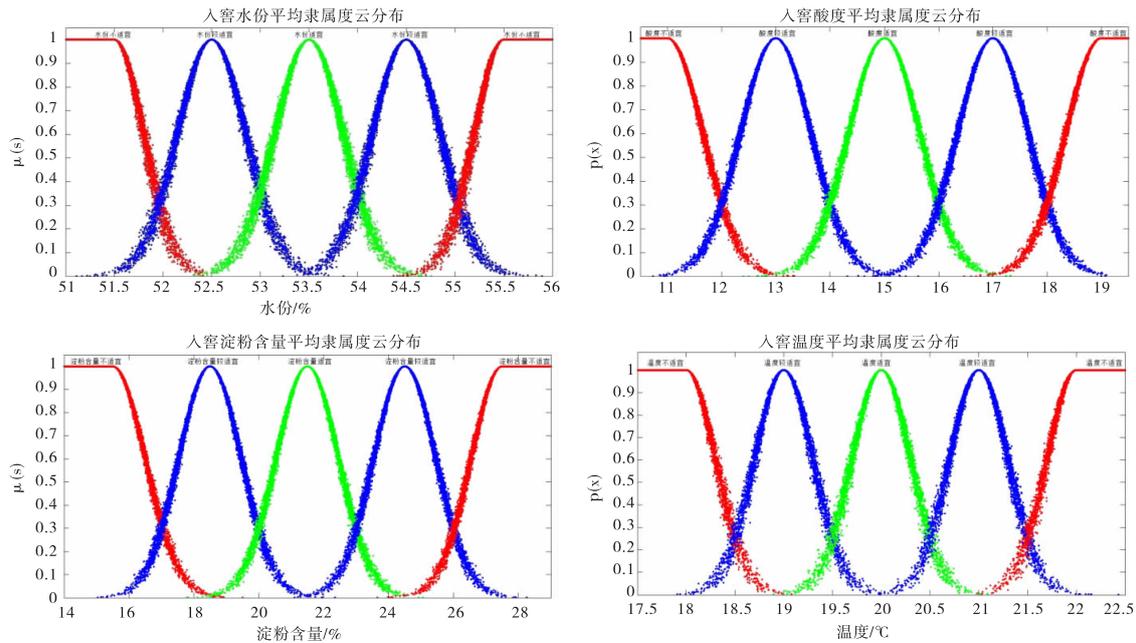


图 2 入窖四条件的隶属度云分布

据上述方法得到表 4 满足 D-S 证据理论的归一化条件的样本数据。

表 4 样本中各检测量对应的基本概率分配

| | 检测量 | 适宜 $m(A_1)$ | 较适宜 $m(A_2)$ | 不适宜 $m(A_3)$ | 不确定 $m(X)$ |
|-----|-------------------------|----------------|-----------------|-----------------|---------------|
| 样本一 | 水份/% | 0.9763 | 0.0237 | 0 | 0 |
| | 酸度/mol. L ⁻¹ | 0.6050 | 0.1318 | 0 | 0.2632 |
| | 淀粉/% | 0.4485 | 0.2966 | 0 | 0.2548 |
| | 温度/℃ | 0.9894 | 0.0106 | 0 | 0 |
| 样本二 | 水份/% | 0 | 0.5659 | 0.1843 | 0.2498 |
| | 酸度/mol. L ⁻¹ | 0.8884 | 0.3531 | 0 | 0.0763 |
| | 淀粉/% | 0.9826 | 0.0138 | 0 | 0.0036 |
| | 温度/℃ | 0.4213 | 0.2877 | 0 | 0.2910 |
| 样本三 | 水份/% | 0.7368 | 0.1104 | 0 | 0.1528 |
| | 酸度/mol. L ⁻¹ | 0.3785 | 0.1257 | 0 | 0.3648 |
| | 淀粉/% | 0.0894 | 0.8241 | 0 | 0.0865 |
| | 温度/℃ | 0.4406 | 0.3005 | 0 | 0.2589 |
| 样本四 | 水份/% | 0 | 0 | 0.9999 | 0.2498 |
| | 酸度/mol. L ⁻¹ | 0 | 0 | 0.9999 | 0.0763 |
| | 淀粉/% | 0.8733 | 0.0250 | 0 | 0.1017 |
| | 温度/℃ | 0.4918 | 0.1767 | 0 | 0.3315 |

3 证据理论基本内容

3.1 证据理论基本知识

若 U 为一个内部元素两两互斥的无穷集合, 设 U 为识别框架, 基本信任分配函数 m 是一个从集合 2^U 到 $[0, 1]$ 的映射, A 表示识别框架 U 的任一子集^[15], 记作 $A \subseteq U$, 且满足:

$$\begin{cases} m(\phi) = 0 \\ \sum_{(A \subseteq U)} m(A) = 1 \end{cases} \quad (1)$$

式中: $m(A)$ 称为事件 A 的基本信任分配函数, 它表示证据对 A 的信任程度^[16]。

3.2 两个或多个证据的合成规则

设辨识框架 U 下两证据 m_1 和 m_2 , 则 D-S 组合公式为:

$$m(A) = \begin{cases} \frac{Q}{1-K} & A \neq \phi \\ 0 & A = \phi \end{cases} \quad (2)$$

式中:

$$Q = \sum_{A_i \cap B_j = A} m_1(A_i) m_2(B_j)$$

$$K = \sum_{A_i \cap B_j = \phi} m_1(A_i) m_2(B_j)$$

K 反映了各个证据之间的冲突程度, 称为冲突系数, 范围 $[0, 1]$ 。其值越接近 1, 表明证据间冲突越大; 越接近 0, 表明冲突越小^[17-18]。

4 证据理论的改进算法

4.1 计算各证据的平均 mass 函数

$$\bar{m}(A) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n m_i(A_k) \quad (3)$$

4.2 计算各证据到平均证据的偏差 d_i

$$d_i = |m_i - \bar{m}| =$$

$$\sqrt{\sum_{k=1}^n (m_i(A_k) - \bar{m}(A_k))^2} \quad (4)$$

4.3 设定证据可信度分级系数

如信度级数为10级时,根据各证据的证据可信度距离平均证据的偏差值来确定加权系数的公式:

$$w_i = \begin{cases} 10; d_{\min} < d_i < d_{\min} + 0.1\Delta d \\ 9; d_{\min} + 0.1\Delta d \leq d_i < d_{\min} + 0.2\Delta d \\ \vdots \\ 2; d_{\min} + 0.8\Delta d \leq d_i < d_{\min} + 0.9\Delta d \\ 1; d_{\min} + 0.9\Delta d \leq d_i < d_{\max} \end{cases} \quad (5)$$

式中, Δd 表示 $d_{\max} - d_{\min}$ 。进一步可以得到分配系数 c_i :

$$c_i = \frac{w_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (6)$$

4.4 计算新的加权平均证据

$$\tilde{m}(A_k) = \sum_{i=1}^n c_i m_i(A_k) \quad (7)$$

4.5 对 \tilde{m} 用 D-S 法则迭代

得出结果:

$$m = \overbrace{\tilde{m} \oplus \tilde{m} \cdots \oplus \tilde{m}}^{n-1} \quad (8)$$

其中: $n - 1$ 为算子 \oplus 进行 D-S 运算的次数。

5 数据分析

在改进后的 D-S 算法中,加权证据的权值系数随着信度级数的不同而改变,信度级数越大,与平均证据偏差越小的证据获得越大的权值系数。通过改进的 D-S 证据理论算法,不同信度级数下各个样本的信息融合结果见表5。

由表5可知,样本一各个参数均正常,最终的判断结果也得到接近于1的“适宜入窖”的判决;样本二的水分偏低,样本三的淀粉含量较低,但最终两个样本融合后的情况却相差极大。样本二的判决结果为“适宜入窖”,而样本三判决结果为“适宜入窖”的信任函数值为0.5893,说明淀粉含量偏离程度较大;样本四的水分含量与酸度均过高,最终的判决结果为“不适宜入窖”。由此可知,该方法不仅可以判别最终入窖的大致情况,且可以判断出某一项参数对于发酵的影响程度。

6 结束语

针对酒醅入窖前的情况,采用模糊理论与 D-S 证

表5 不同信度级数对应的融合结果

| 信度级数 | $m(A_1)$ | $m(A_2)$ | $m(A_3)$ | $m(X)$ | |
|------|----------|----------|----------|--------|--------|
| 样本一 | 2 | 0.9604 | 0.0166 | 0 | 0.023 |
| | 4 | 0.9956 | 0.0015 | 0 | 0.0029 |
| | 6 | 0.9995 | 0.0001 | 0 | 0.0003 |
| | 8 | 0.9999 | 0 | 0 | 0 |
| 样本二 | 10 | 0.9999 | 0 | 0 | 0 |
| | 2 | 0.8248 | 0.1105 | 0.0034 | 0.0613 |
| | 4 | 0.9445 | 0.0371 | 0.0001 | 0.0183 |
| | 6 | 0.9845 | 0.0106 | 0 | 0.0049 |
| 样本三 | 8 | 0.9962 | 0.0027 | 0 | 0.0011 |
| | 10 | 0.9991 | 0.0005 | 0 | 0.0004 |
| | 2 | 0.483 | 0.3641 | 0 | 0.1529 |
| | 4 | 0.5887 | 0.3002 | 0 | 0.1111 |
| 样本四 | 6 | 0.6021 | 0.3221 | 0 | 0.0758 |
| | 8 | 0.6011 | 0.3463 | 0 | 0.0525 |
| | 10 | 0.5893 | 0.3752 | 0 | 0.0354 |
| | 2 | 0.2317 | 0.007 | 0.7309 | 0.0303 |
| 样本四 | 4 | 0.1004 | 0.0008 | 0.8921 | 0.0066 |
| | 6 | 0.0413 | 0 | 0.9572 | 0.0015 |
| | 8 | 0.0131 | 0 | 0.9868 | 0.0001 |
| | 10 | 0.0058 | 0 | 0.9942 | 0 |

据理论构成的检测系统,充分利用酒醅检测信息,实现传感器信息的有效融合,为酒醅入窖的情况作了科学的预判,提高了酒醅的利用率和发酵的可行性,保证了发酵安全适当进行。在今后的工作中,将对酒醅入窖前情况与发酵情况建立联系,对发酵情况的认知了解将更加深刻。

参考文献:

- [1] 王勇,罗惠波,刘燕梅,等.浓香型大曲中多株芽孢杆菌的分离及鉴定[J].四川理工学院学报:自然科学版,2015,28(2):5-8.
- [2] 马连松.不同季节入窖条件对浓香型白酒产量和质量的影响[D].济南:齐鲁工业大学,2015.
- [3] 李大和,李国红,李国林.浅谈浓香型大曲酒入窖发酵条件与产质量的关系[J].酿酒,2002,29(5):21-22.
- [4] 祝云飞,黄治国,邓杰,等.浓香型大曲中一株酵母菌的分离鉴定及其挥发性产物分析[J].四川理工学院学报:自然科学版,2016,29(1):7-11.
- [5] 田殿梅,张良,霍丹群,等.泸糯八号高粱酒糟酿造浓香型白酒入窖条件优化[J].食品与发酵工业,2013,39(12):119-122,127.
- [6] 马加军.浓香型大曲酒春夏秋冬入窖酸度的研究[J].酿酒科技,1995(4):20-22.
- [7] 赖登辉.五粮浓香白酒生产入窖条件的研究[J].酿

- 酒,2016,43(3):17-19.
- [8] 陈建平,扈延光,刘向坤,等.考虑环境因素及可信度的可靠性仿真方法[J].科学技术与工程,2016,16(32):150-153.
- [9] YAN F,XU K L,CUI Z K,et al.An improved layer of protection analysis based on a cloud model: Methodology and case study[J].Journal of Loss Prevention in the Process Industries,2017,48:41-47.
- [10] GAO H B,XIE G T,LIU H Z,et al.Lateral control of autonomous vehicles based on learning driver behavior via cloud model[J].Journal of China Universities of Posts & Telecommunications,2017,24(2):10-17.
- [11] MA S D,ZHANG H Z,YANG G Q.Target threat level assessment based on cloud model under fuzzy and uncertain conditions in air combat simulation[J].Aerospace Science and Technology,2017,67:49-53.
- [12] 陈强,张九卫,姚宇乐.煤矿瓦斯监测及多传感器信息融合的研究[J].矿山机械,2015,43(11):134-137.
- [13] YAN H,WU D,HUANG Y,et al.Water eutrophication assessment based on rough set and multidimensional cloud model[J].Chemometrics & Intelligent Laboratory Systems,2017,164:103-112.
- [14] 丁文静,刘以安,薛松.基于证据价值的冲突证据合成方法[J].计算机工程与科学,2016,38(8):1715-1720.
- [15] YANG H,HASSAN S G,WANG L,et al.Fault diagnosis method for water quality monitoring and control equipment in aquaculture based on multiple SVM combined with D-S evidence theory[J].Computers & Electronics in Agriculture,2017,141:96-108.
- [16] 李松彬,王加阳,陈林书.粗证据合成的一致性研究[J].小型微型计算机系统,2016,37(5):982-986.
- [17] LI H S,PAN D.Multi-photoelectric detection sensor target information recognition method based on D-S data fusion [J]. Sensors and Actuators A: Physical, 2017,264:117-122.
- [18] GUO K H,LI W L.Combination rule of D-S evidence theory based on the strategy of cross merging between evidences[J].Expert Systems with Applications,2011,38(10):13360-13366.

Research on Cellar Inlet Condition of Luzhou Flavor Liquor Fermentation Based on Information Fusion

ZHOU Xiaoyang^{1a,2}, YAO Yi^{1a,2}, JIA Jinling^{1b,2}, CHEN Bo^{1a,2}

(1a. School of Automation & Information Engineering; 1b. School of Computer Science, Sichuan University of Science & Engineering, Zigong 643000, China; 2. Artificial Intelligence Key Laboratory of Sichuan Province, Zigong 643000, China)

Abstract: The fermentation process of Luzhou flavor liquor is almost uncontrollable, therefore the cellar inlet condition is an important reference index for liquor fermentation. Based on the study of the cellar conditions of Luzhou flavor liquor, the cloud model and the improved D-S evidence theory are adopted to realize the quantitative evaluation of cellar inlet condition of liquor fermentation. After studying considerable data and experience of workers, four kinds of parameters affecting the condition of fermentation are introduced, which are temperature, acidity, starch content and moisture content. Through the Matlab simulation, the cloud model is established to make each parameter own its corresponding membership function. The sampled data is realized to evaluate the membership standard by the cloud model, and the improved D-S evidence theory is used to analyze the sampled data. It has been proved that the analysis of the cellar inlet condition of Luzhou flavor liquor can achieve an accurate quantitative analysis, meanwhile greatly reduces the subjectivity and randomness of artificial discrimination.

Key words: D-S evidence theory; cloud model; cellar inlet condition; information fusion; liquor fermentation