

基于云模型的玉米饮料感官鉴评*

刘晶晶¹ 孙永海¹ 陈莉¹ 孙钟雷² 李亚卓¹

(1. 吉林大学生物与农业工程学院, 长春 130025; 2. 长江师范学院生命科学与技术学院, 重庆 408100)

摘要: 利用云模型实现玉米饮料感官鉴评过程中的定性描述性语言和相应定量数值之间的任意转换, 首先利用逆向云模型对玉米饮料感官鉴评的得分进行转化和分析, 得到玉米饮料定性概念的表示。同时利用正向正态云模型完成玉米饮料定性概念向定量数值的转化, 在保留数据特征的前提下将其还原至不同样本点。并针对玉米饮料的评价将云模型推广至多维空间。利用综合定性概念特征在四维空间内表征玉米饮料整体特征。

关键词: 玉米饮料 感官鉴评 正向正态云模型 云模型

中图分类号: TS207.3; TS275.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2013)01-0113-06

Sensory Evaluation of Corn Juices Based on Cloud Model

Liu Jingjing¹ Sun Yonghai¹ Chen Li¹ Sun Zhonglei² Li Yazhuo¹

(1. College of Biological and Agricultural Engineering, Jilin University, Changchun 130025, China

2. Life Science and Technology Institute, Yangtze Normal University, Chongqing 408100, China)

Abstract: The conversion between qualitative descriptive language and corresponding quantitative values was achieved in corn juices sensory evaluation process based on cloud model. Backward cloud model was used to transform and analyze the scores of sensory evaluation of corn juices. The qualitative concept of corn juices was obtained. Forward cloud normal model transformed the qualitative concept of corn juices to quantitative values, and restored to different test points retaining the data characteristics. The cloud model was extended to multidimensional space based on the assessment for corn juices. Integrated qualitative characterization described general character of corn juices in 4-D space.

Key words: Corn juices Sensory evaluation Forward normal cloud model Cloud model

引言

玉米饮料的感官品质主要依赖于人的感知来鉴定。食品感官鉴评依赖于统计学、心理学和生理学。然而传统的统计学仅能将感官鉴评结果中的随机性表现出来, 对于由于感官鉴评人员的心理和生理的影响所导致的模糊性难以在鉴评结果中体现。而经典的模糊集理论具有不彻底性^[1], 一旦人为假定隶属函数之后, 则将分析结果重新归入到精确数学领域。为了完整表示感官鉴评中由于样本差异、鉴评人员生理和心理因素导致鉴评结果的模糊性和随机性, 需要建立一个能够完成定性概念和定量数值之间自由转换的数学模型。

李德毅首次提出了用云模型作为不确定性知识的定性定量转换的数学模型^[2-3]。该种云模型经过不断改进被应用于遥感图像分类^[4]、大米垩白识别^[5]、项目评价^[6]等领域。本文将云模型应用到玉米饮料的感官鉴评中, 对玉米饮料感官鉴评的定性概念和定量数值之间进行转化和分析。

1 感官鉴评试验

1.1 试验样本

试验选用5种有一定差异的玉米饮料, 均从当地购得。室温条件下避光放置待用。在试验前对玉米饮料进行编号并记录。玉米饮料在试验开始前0.5 h 摇匀开封, 并移至中性容器中, 使用圆形摆放

收稿日期: 2012-06-25 修回日期: 2012-08-12

* 国家自然科学基金资助项目(31271861)和国家高技术研究发展计划(863计划)资助项目(2008AA100802)

作者简介: 刘晶晶, 博士生, 主要从事农产品智能检测与评价研究, E-mail: liujj1986tiger@sina.com

通讯作者: 孙永海, 教授, 博士生导师, 主要从事农产品智能检测与评价研究, E-mail: sunyh@jlu.edu.cn

法将样品置于鉴评人员前方。

1.2 食品感官鉴评人员

对候选评价员的味觉、嗅觉、视觉等感官器官的缺陷可能性进行评估。并利用标度和类别检验中的评分检验法对无感官缺陷的评价员进行感官敏感度测试。通过感官评定能力试验选出具有一定分辨能力的感官鉴评人员共计 38 名,将其作为后续试验的

感官鉴评人员。经过适当训练使得感官鉴评人员对所评价的玉米饮料样本系统和评价标准有较为一致的认识。

1.3 评分标准

按照色泽、香气、滋味和状态 4 个方面对玉米饮料进行描述和评分,参照文献[7]及专家意见依次设定权值为 0.25、0.25、0.30、0.20。具体评分标准见表 1。

表 1 玉米饮料感官鉴评评分标准
Tab.1 Standard for sensory evaluation of corn juices

级别	色泽	香气	滋味	状态	
非常喜爱	分值	20~25	20~25	25~30	15~20
	描述	明显清亮,有光泽	浓厚玉米香味	甜度适中,清爽可口,有弹性	粘滞程度均匀,滑动细腻
喜爱	分值	10~20	10~20	15~25	5~15
	描述	浅黄浑浊,略有光泽	玉米香味寡淡	甜度适中,略有粗糙磨口感	粘滞程度过稀或过稠,滑动有块状感
一般	分值	0~10	0~10	0~15	0~5
	描述	黄绿色,无光泽	无玉米香味	酸甜比失调,有扎口感,感到不适	浑浊,粘滞程度过稀呈水状或有分层,或者无需滑动状态即可观察到明显块状凝结

2 基于云模型的感官鉴评理论

云模型能够完成玉米饮料感官鉴评过程中描述性语言和具体数值表示之间的不确定性转换,能够很好地反映出两种不确定性,即模糊性和随机性。

设定 U 为一个精确数值表示的论域(一维、二维、直至推广至多维), A 为 U 上对应的定性概念,即描述性语言。对于论域 U 中的任意一个元素 x ,存在一个有着稳定倾向的随机数 $\mu_A(x)$,称之为 x 对 A 的隶属度, x 在论域上的分布称为云模型^[8]。其中 $\mu_A(x)$ 为隶属函数,是论域中所有元素属于模糊集合 A 的隶属度分布。在大量模糊概念的隶属函数中,正态隶属度刻画最接近人类思维^[9]。充分运用正态分布和正态隶属函数的普适性可得到正态云模型。

利用正态云模型作为玉米饮料某个定性概念与其具体分值定量表示之间的不确定性转换模型。其中正向云发生器和逆向云发生器是模型中的两个关键算法。

2.1 逆向云发生器

在实际评分过程中,无法得到相应云滴的隶属度 $\mu_A(x)$,故而利用仅依赖于云滴 x 的一种一维逆向云算法^[10]。同时为了防止实际计算得到的超熵为虚值,利用改进后的逆向云算法^[11],则得到定性概念 A 的 3 个数字特征:期望 E_x 、熵 E_n 、超熵 H_e 。

一维逆向云发生器算法及在 Matlab 环境中的部分代码如下:

(1) $\text{Mean_value} = \text{mean}(x(:))$,计算出该组数

据的样本均值 $\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i$; $\text{Abs_center} = \text{sum}(\text{abs}(x - \text{Mean_value}))/N$,计算出该组数据的一阶样本绝对中心距 $\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |x_i - \bar{x}|$; $\text{Sample_var} = \text{var}(x(:))$,计算出该组数据的样本方差 $\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2$ 。

(2) $E\hat{x} = \text{Mean_value}$,将样本均值作为 E_x 的估计值。

(3) $E\hat{n} = \text{sqrt}(\text{pi}/2) * \text{Abs_center}$,将 $\sqrt{\frac{\pi}{2}} * \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |x_i - \bar{x}|$ 值作为 E_n 的估计值。

(4) $H\hat{e} = \text{sqrt}(\text{abs}(\text{Sample_var} - E\hat{n}^2))$;将 $\sqrt{\left| \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 - E\hat{n}^2 \right|}$ 值作为 H_e 的估计值。

2.2 正向正态云发生器

m 维正向云模型是在论域 U 为 m 维的情况下,输入云滴数 N 以及表示定性概念 A 的 m 维 3 个数字特征:期望 E_x 、熵 E_n 、超熵 H_e ;输出 N 个云滴的定量值及其对定性概念 A 的隶属度。

m 维正向正态云发生器算法及在 Matlab 环境中的部分代码如下:

(1) $x'_i = \text{normrnd}(E_{n_i}, H_{e_i}, 1, N)$;生成 E_{n_i} 为期望值、 H_{e_i} 为标准差的正态随机数一维 N 个,重复本步骤计算,使得 $i = 1, 2, \dots, m$ 。

(2) $x_i = \text{normrnd}(E_{x_i}, x'_i, 1)$;生成 E_{x_i} 为期望值、 x'_i 为标准差的正态随机数,其为定性概念 A 的一次具体量化值,称为一个云滴,重复本步骤计算,使

得 $i = 1, 2, \dots, m$ 。

(3) 计算出每个云滴对定性概念 A 的隶属度

$$y = \exp \sum_{i=1}^m \left[-\frac{(x_i - E_{x_i})^2}{2x_i'^2} \right]。$$

(4) $\{x_1, x_2, \dots, x_m, y\}$ 完整反映了一次 m 维定性定量转换的全部内容。

(5) 重复步骤(2)至步骤(4)共 N 次, 得到 N 个 m 维云滴。

其中函数 $R = \text{normrnd}(M_U, S, M, P)$ 生成期望为 M_U 、标准差为 S 的正态随机数, M 和 P 分别为生成随机数的行和列的维数。

本文算法均在 Matlab 环境中实现。

3 基于云模型的感官鉴评数据分析

3.1 一维云模型对滋味鉴评数据分析

通过感官鉴评试验共得到 38 组有效的味觉评分表, 利用一维逆向云模型将针对滋味所得的具体数值即相应的云滴 x 转化为能够表示定性概念 A 的 3 个数字特征: 期望 E_x 、熵 E_n 、超熵 H_e 。

得到不同样本滋味 E_x 、 E_n 和 H_e 值(见表 2)。5 个样本中, 样本 1 的 E_x 值最大, 表明在该数域空间最能代表定性概念的量化典型样本点为 22.500 0, 即样本 1 滋味方面甜度适中, 略有粗糙磨口感。而样本 4 的 E_x 为 9.157 9, 显然其滋味评价为酸甜比失调, 有扎口感, 感到不适。感官鉴评人员对样本 2、3、5 的评价非常接近。 E_n 值是反映定性概念的不确定性。样本 1 的 E_n 值为 5.013 3, 是 3 个样本中最小的, 表明在数域空间中可以被定性概念接受的云滴群范围较小, 即其模糊性较低, 同时表明代表定性概念的云滴出现的随机性较小, 另外该值还揭示

表 2 玉米饮料滋味的一维逆向云模型输出值

Tab.2 Output of 1-D backward cloud model for taste of corn juices

样本序号	E_x	E_n	H_e
1	22.500 0	5.013 3	1.597 4
2	16.552 6	7.230 0	2.486 2
3	16.684 2	6.353 4	1.147 2
4	9.157 9	6.881 1	1.634 7
5	16.105 3	6.391 6	1.066 1

了模糊性和随机性的关联程度。样本 2 的 E_n 值最大, 其在所有样本中云滴群范围最大, 模糊性和随机性较高。 H_e 值是衡量熵的随机性和模糊性的, 云模型中可以利用超熵 H_e 来反映因素的不均衡性^[8]。在评分标准设定过程中, 感官鉴评人员个人心理和生理的不稳定性会对感官鉴评结果有一定影响。并且不同级别的感官鉴评人员^[12] 其心理和生理稳定性有一定差异, 对于食品的偏爱性人与人之间的认可程度差距较大, 利用云模型中的参数 H_e 来反映这种差异和影响。当鉴评人员对食品的描述相对一致时, H_e 较小, 此时 $E_n^2 + H_e^2$ 和 E_n^2 差距不大, 感官鉴评结果稳定, 当鉴评人员对食品的描述分歧较大时, H_e 较大, $E_n^2 + H_e^2$ 和 E_n^2 差距较大, 感官鉴评结果不稳定, 表现为泛正态分布或者亚正态分布。

通过 38 组感官评定数据得到 E_x 、 E_n 和 H_e 值, 利用一维正态云发生器算法还原出 5 个样本 500 组感官鉴评结果的直观表示(图 1)。图中 $6E_n$ 的宽度容纳了约 99.74% 的云滴数, 而在顶点处的云滴其坐标为 $(E_x, 1)$ 。样本 3 和 5 得到的云图非常相似, 宽度、顶点坐标位置和云的离散程度都相近。样本 1 和 2 具有非常明显的“雾化”^[13] 现象出现。从云的几何特性上来说, 此时的样本 1 和 2 的 H_e 值接近

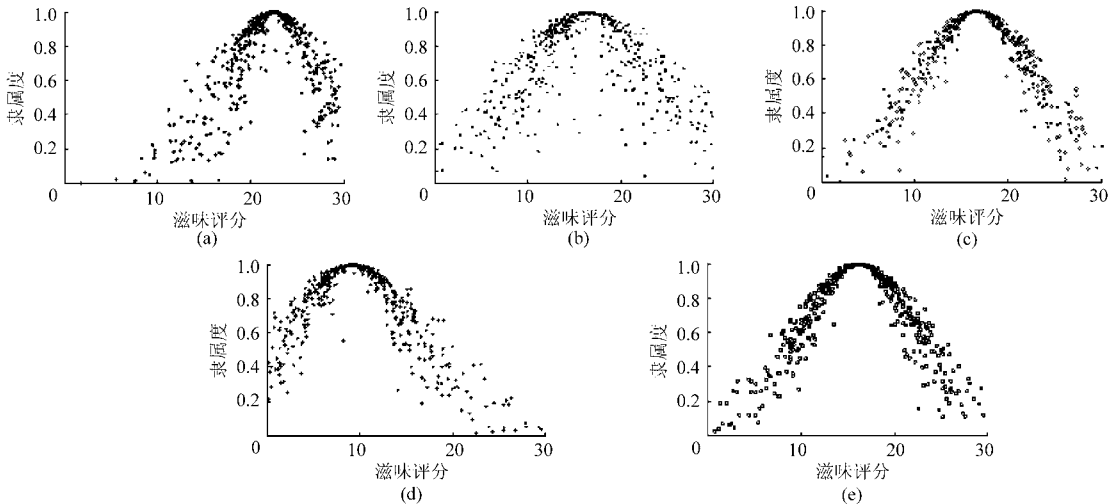


图 1 玉米饮料滋味鉴评云模型

Fig.1 Cloud model for corn juice taste evaluation

(a) 样本 1 (b) 样本 2 (c) 样本 3 (d) 样本 4 (e) 样本 5

于 $\sqrt{\frac{2aE_n}{\ln((E_n+a)/(E_n-a))}}$, 样本 1 和 2 的还原云滴落在曲线 $y = \exp\left(-\frac{(x-E_x)^2}{2a^2}\right)$ 与 x 轴所围区域中的概率较大。这种“雾化”现象直观给出了 H_e 值所表征的对食品偏爱程度的分歧。

3.2 多维云模型对鉴评数据分析

上述一维逆向云模型非常容易推广至多维, 仅需要在不同维度分别计算后再进行简单复合, 得到 m 维空间下的不同样本定性概念表示 $\{(E_{x_1}, E_{n_1}, H_{e_1}), (E_{x_2}, E_{n_2}, H_{e_2}), \dots, (E_{x_m}, E_{n_m}, H_{e_m})\}$ 。玉米饮料感官鉴评结果的四维逆向云模型输出值见表 3。

表 3 玉米饮料的四维逆向云模型输出值

Tab.3 Output of 4-D backward cloud model for corn juices

样本序号		E_x	E_n	H_e
1	色泽	21.605 3	2.801 7	0.301 3
	香气	20.210 5	3.142 0	1.424 2
	滋味	22.500 0	5.013 3	1.597 4
	状态	16.447 4	3.799 9	0.362 0
2	色泽	13.394 7	5.006 3	1.509 1
	香气	14.131 6	5.837 8	2.070 5
	滋味	16.552 6	7.230 0	2.486 2
	状态	12.131 6	4.905 6	1.376 2
3	色泽	16.184 2	5.256 3	1.300 1
	香气	16.868 4	5.657 3	1.844 2
	滋味	16.684 2	6.353 4	1.147 2
	状态	12.842 1	4.561 9	1.304 5
4	色泽	6.500 0	5.442 0	0.954 7
	香气	5.763 2	4.405 7	1.177 6
	滋味	9.157 9	6.881 1	1.634 7
	状态	7.078 9	5.402 1	1.602 3
5	色泽	16.315 8	6.287 4	1.045 6
	香气	16.394 7	5.811 8	1.760 3
	滋味	16.105 3	6.391 6	1.066 1
	状态	11.473 7	6.863 7	2.749 1

仅以香气和滋味的二维云模型为例进行分析。香气和滋味的原始评分如图 2a~2e 所示, 利用二维正态云发生器还原出的 5 种玉米饮料的香气和滋味得分如图 2f~2j 所示。二者相比较可以看出还原出的云滴与原始数据基本特征一致, 样本 1 香气和滋味的评分都较高, 故而数据点多在右上方; 而样本 4 香气和滋味的评分均较低, 其点多在左下方。其余几种样本点多分散在中间区域。可见在利用云模型进行玉米饮料定性概念和具体数值之间的转换过程中, 保留了样本的特征。图 2k~2o 给出了上述样本的二维云图, 图中表示了隶属度概念并还原至 500 个样本点, 在二维条件下, 样本 1 总体云滴紧

凑, 云直径较小, 分散度较小, 样本 1 在滋味和香气方面的鉴评结果得分最高, 且鉴评人员对此争议最小。样本 2 云直径较大, 存在二维雾化现象, 样本 2 在滋味和香气方面的鉴评结果不稳定, 鉴评人员对此存在分歧。样本 4 总体得分最低。

3.3 综合定性概念特征

上述多维逆向云模型得到的表示定性概念的特征值虽然对应的是多维的, 但是各个维度彼此独立。对四维空间内的定性概念进行综合, 即

$$E_{xz} = E_{x_1} + E_{x_2} + E_{x_3} + E_{x_4} \quad (1)$$

$$E_{nz} = \sqrt{E_{n_1}^2 + E_{n_2}^2 + E_{n_3}^2 + E_{n_4}^2} \quad (2)$$

$$H_{ez} = \sqrt{H_{e_1}^2 + H_{e_2}^2 + H_{e_3}^2 + H_{e_4}^2} \quad (3)$$

式中 E_{xz} ——综合期望 E_{nz} ——综合熵

H_{ez} ——综合超熵

得到的四维逆向云模型输出值的综合定性概念特征: 综合期望 E_{xz} 、综合熵 E_{nz} 、综合超熵 H_{ez} 。具体数值见表 4。

表 4 四维逆向云模型输出值的综合定性概念特征

Tab.4 Comprehensive qualitative concept characteristics for 4-D backward cloud model

样本序号	E_{xz}	E_{nz}	H_{ez}
1	80.763 2	7.569 3	2.191 3
2	56.210 5	11.639 6	3.826 2
3	62.578 9	10.991 4	2.847 7
4	28.500 0	11.205 3	2.745 5
5	60.289 5	12.699 3	3.589 7

通过正向云模型依据样本综合定性概念特征 (E_{xz}, E_{nz}, H_{ez}) 还原出 $N=500$ 时的云图见图 3, 样本 1 综合得分最高, 整个正态云靠近右侧, 综合得分中的 E_{xz} 值最大, 且云图宽度较小, 云图分散度也较小, 表明该样本对鉴评人员而言是非常喜爱的, 且鉴评人员对该样本总体分歧最小。而样本 4 的 E_{xz} 值最小, 最能代表其定位特点的值, 表明该样本难以得到感官鉴评人员的喜爱。样本 2 和 5 的 E_{nz} 值和 H_{ez} 值均较大, 表明感官鉴评人员对其评价差异最大, 具有争议。可见本文所利用的综合定性概念特征 (E_{xz}, E_{nz}, H_{ez}) 能够很好地将多维空间内的离散的概念特征有机结合, 反映整体概念特性。

3.4 与传统方法比较

在一般的描述评分试验中, 利用样本均值 $\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i$ 来反映样本集中趋势, 利用样本方差 $\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2$ 来描述样本变异程度和分散程度。与之相比较, 通过逆向云发生器的算法可以看出云模型算法中将样本均值和方差的概念完全涵盖

在内,同时增加了感官鉴评人员对样本描述时的不确定性模糊概念。另外,通过正向云模型可以得到

具有相同样本特征还原出的云滴。据此可以利用小样本数据特征,预测出具有相同特征的数据。

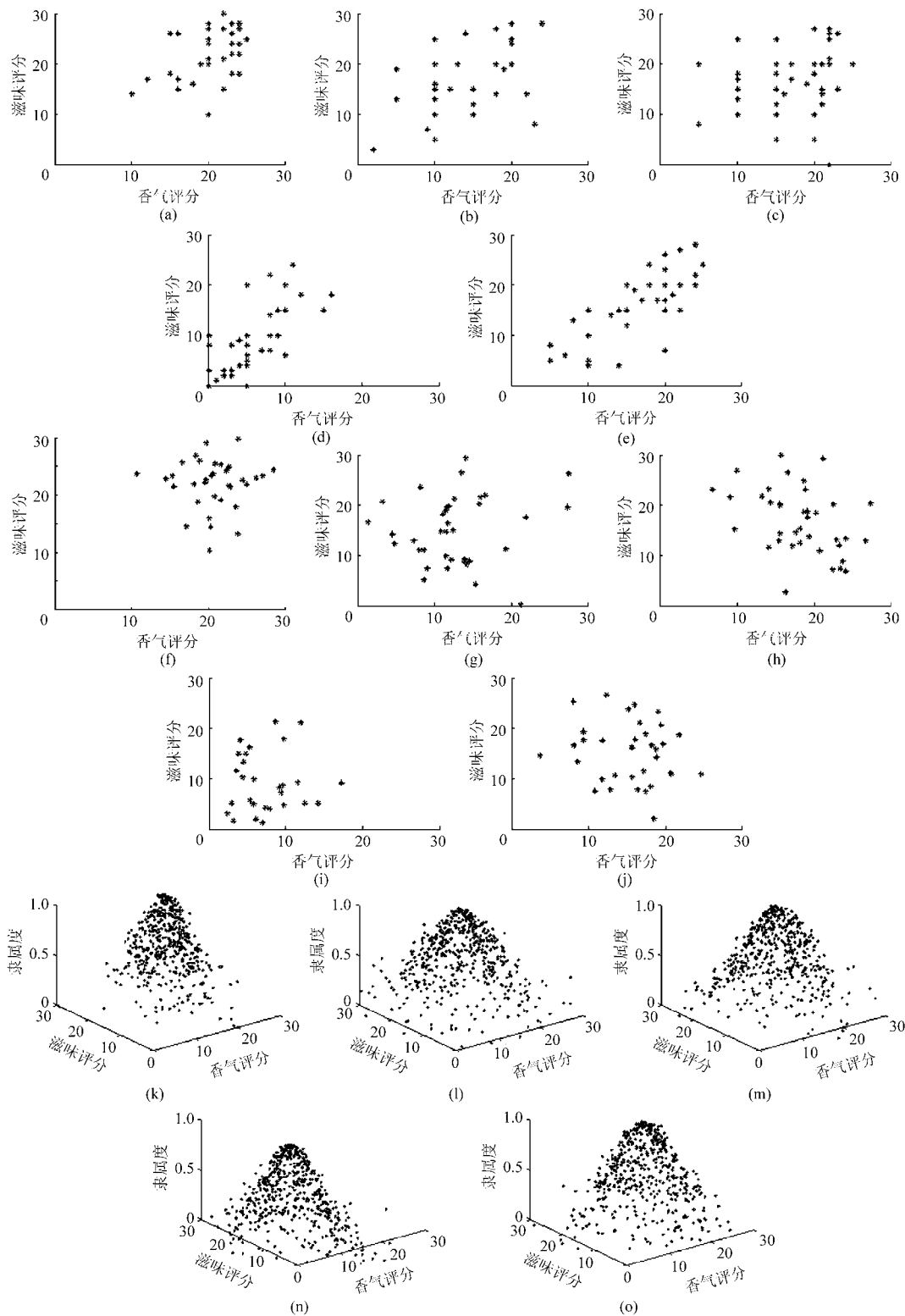


图 2 玉米饮料香气和滋味云图

Fig. 2 Cloud model for odour and taste evaluation of corn juice

(a) 样本 1 香气和滋味评分 (b) 样本 2 香气和滋味评分 (c) 样本 3 香气和滋味评分 (d) 样本 4 香气和滋味评分 (e) 样本 5 香气和滋味评分 (f) 样本 1 香气和滋味还原 38 云滴 (g) 样本 2 香气和滋味还原 38 云滴 (h) 样本 3 香气和滋味还原 38 云滴 (i) 样本 4 香气和滋味还原 38 云滴 (j) 样本 5 香气和滋味还原 38 云滴 (k) 样本 1 香气和滋味的云图 (l) 样本 2 香气和滋味的云图 (m) 样本 3 香气和滋味的云图 (n) 样本 4 香气和滋味的云图 (o) 样本 5 香气和滋味的云图

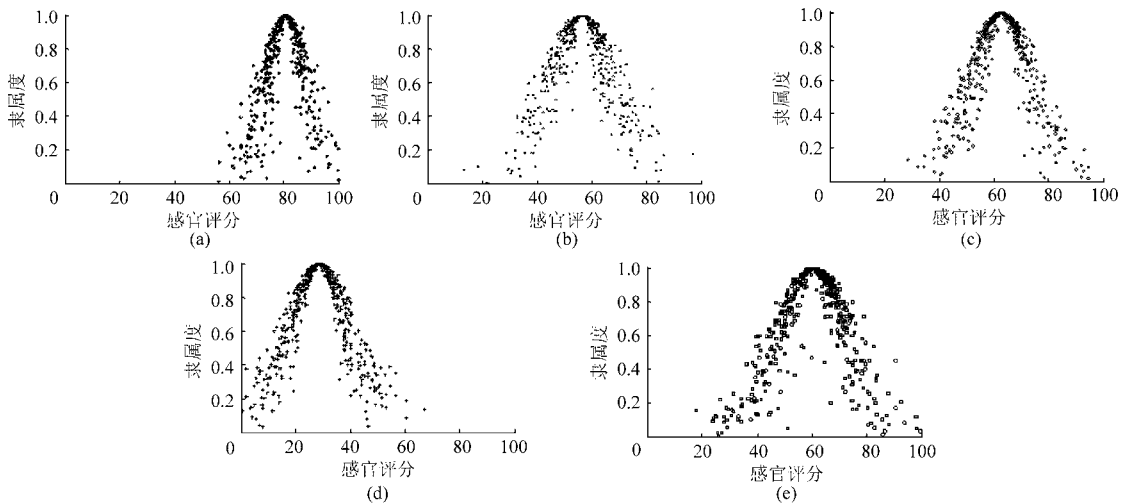


图3 综合定性概念得到的云图

Fig. 3 Cloud model based on comprehensive qualitative concept characteristics

(a) 样本1 (b) 样本2 (c) 样本3 (d) 样本4 (e) 样本5

4 结束语

基于玉米饮料感官鉴评实例,感官鉴评人员在对玉米饮料进行评分后,利用逆向云发生器能够将感官鉴评中得到的精确评分数值有效转化为恰当的反映玉米饮料特性的定性概念。而针对反映玉米饮料特性的定性概念可以利用正向正态云发生器在保留自然语言不确定性的同时将其数值化,并能还原

至不同试验点数。同时将云模型推广至多维空间。并利用综合定性概念特征,将多维空间内离散的概念特征结合以反映整体概念特性。

云模型能够实现定性概念和定量数值之间的任意转换。而对于人工智能系统而言,能够表示和处理这种感官性语言的前提是能够理解这种不确定性语言,本模型为此奠定了基础。

参 考 文 献

- 1 李德毅,史雪梅. 语言原子模型和似然推理[C]//计算机智能接口与智能应用论文集,1993:272~277.
- 2 李德毅,孟海军,史雪梅. 隶属云和隶属云发生器[J]. 计算机研究与发展, 1995, 32(6): 16~21.
Li Deyi, Meng Haijun, Shi Xuemei. Membership clouds and membership cloud generators[J]. Computer R&D, 1995, 32(6): 16~21. (in Chinese)
- 3 Li Deyi, Cheng D W, Shi Xuemei, et al. Uncertainty reasoning based on cloud models in controllers[J]. Computer and Mathematics with Applications, 1998, 35(3):99~123.
- 4 李刚,万幼川. 基于高维云模型和RBF神经网络的遥感影像不确定性分类[J]. 测绘科学, 2012, 37(1): 115~118.
Li Gang, Wan Youchuan. Uncertainty classification method of remote sensing image based on high-dimensional cloud model and RBF neural network[J]. Science of Surveying Mapping, 2012, 37(1): 115~118. (in Chinese)
- 5 石礼娟,文友先,牟同敏,等. 逆向云在涩白识别中的应用[J]. 农业机械学报, 2009, 40(12): 196~199.
Shi Lijuan, Wen Youxian, Mou Tongmin, et al. Application of backward cloud to chalkiness detection[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(12): 196~199. (in Chinese)
- 6 张旭东,蒋方美,刘桂范. 基于云模型的节能项目综合评价方法[J]. 油气储运, 2012, 31(2): 294~296.
Zhang Xudong, Jiang Fangmei, Liu Guifan. Comprehensive evaluation method of energy saving project based on cloud model[J]. Storage and Transportation, 2012, 31(2): 294~296. (in Chinese)
- 7 周剑新,谢洁,蒲海燕,等. 调和玉米汁饮料配制工艺[J]. 食品研究与开发, 2010, 31(7): 87~90.
Zhou Jianxin, Xie Jie, Pu Haiyan, et al. The study of productive process of compounding mixed corn juice[J]. Food Research and Development, 2010, 31(7): 87~90. (in Chinese)
- 8 刘常昱,李德毅,潘丽丽. 基于云模型的不确定性知识表示[J]. 计算机工程与应用, 2004, 40(2):32~35.
Liu Changyu, Li Deyi, Pan Lili. Uncertain knowledge representation based on cloud model[J]. Computer Engineering and Applications, 2004, 40(2):32~35. (in Chinese)
- 9 李德毅,刘常昱. 论正态云模型的普适性[J]. 中国工程科学, 2004, 6(8): 28~34.
Li Deyi, Liu Changyu. Study on the universality of the normal cloud model[J]. Engineering Science, 2004, 6(8): 28~34. (in Chinese)

- [J]. *Journal of Mathematical Medicine*, 2011, 24(6): 745 ~ 747. (in Chinese)
- 16 张莉萍,周明玉. 旋光法、阿贝折射仪、碘量法测定工业用葡萄糖含量比较[J]. *苏州医学院学报*, 1998, 18(12): 1 270 ~ 1 271.
Zhang Liping, Zhou Mingyu. Polarimetry, Abbe refractometer, iodometric method for the determination of glucose content for industrial using[J]. *ACTA Academiae Medicinae Suzhou*, 1998, 18(12): 1 270 ~ 1 271. (in Chinese)
- 17 Toma R B, Leung H K. Determination of reducing sugars in French fried potatoes by 3,5-dinitrosalicylic acid[J]. *Food Chemistry*, 1987, 23(1): 29 ~ 33.
- 18 Miller G L. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar[J]. *Analytical Chemistry*, 1959, 31(3): 426 ~ 428.
- 19 黄晓钰,刘邻渭. 食品化学与分析综合实验[M]. 2版. 北京:中国农业大学出版社,2009:138 ~ 139.
- 20 Vlasenko Y E, Ding H, Labavitch M J, et al. Enzymatic hydrolysis of pretreated rice straw[J]. *Bioresource Technology*, 1997, 59(2 ~ 3): 109 ~ 119.
- 21 宋孝周,吴清林,傅峰,等. 农作物与其剩余物制备纳米纤维素研究进展[J]. *农业机械学报*, 2011, 42(11): 106 ~ 112.
Song Xiaozhou, Wu Qinglin, Fu Feng, et al. Research progress of nanocrystalline cellulose prepared from crops and agricultural residues[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2011, 42(11): 106 ~ 112. (in Chinese)

~~~~~

(上接第 118 页)

- 10 刘常昱,冯芒,戴晓军,等. 基于云 x 信息的逆向云新算法[J]. *系统仿真学报*, 2004, 16(11): 2 417 ~ 2 420.  
Liu Changyu, Feng Mang, Dai Xiaojun, et al. A new algorithm of backward cloud[J]. *Journal of System Simulation*, 2004, 16(11): 2 417 ~ 2 420. (in Chinese)
- 11 陈昊,李兵. 基于逆向云和概念提升的定性评价方法[J]. *武汉大学学报:理学版*, 2010, 56(6): 683 ~ 688.  
Chen Hao, Li Bing. Qualitative evaluation method based on backward cloud and concept generalizing[J]. *Journal of Wuhan University: Natural Science Edition*, 2010, 56(6): 683 ~ 688. (in Chinese)
- 12 张水华,孙君社,薛毅. 食品感官鉴评[M]. 广州:华南理工大学出版社, 1999: 36 ~ 38.
- 13 刘常昱,李德毅,杜鹤,等. 正态云模型的统计分析[J]. *信息与控制*, 2005, 34(2): 236 ~ 239.  
Liu Changyu, Li Deyi, Du Yi, et al. Some statistical analysis of the normal cloud model[J]. *Information and Control*, 2005, 34(2): 236 ~ 239. (in Chinese)