

南京市售蜂蜜的流变特性(第2报)

——蜂蜜表观粘度与温度的关系

提 要

作者根据实验,发现八种南京市售蜂蜜的表观粘度 η' ($\text{p}_a \cdot \text{s}$)与温度 T ($^{\circ}\text{C}$)之间存在下列关系:

$$\eta' = Be^{-AT}$$

式中 A 和 B 为系数,由实验决定。

进一步分析表明上式可简化为

$$\eta' = Be^{-0.079T}$$

式中 0.079 为系数 A 的平均值。

测得一种蜂蜜在某一室温下的表观粘度后,即可按上式算出这种蜂蜜在规定温度下的表观粘度。

一、引 言

蜂蜜中的水份很难用简便的蒸发或化学分析的方法测定。因此,用普通的旋转粘度计测定蜂蜜的流变参量,以判别蜂蜜中的水份是否在合理范围以内,并据此逐步建立有关的检验标准,是一项很有吸引力的工作。对此,作者用NXS—11型旋转粘度计对八种南京市售蜂蜜的流变参量进行测定,其结果已发表于《南京市售蜂蜜的流变特性(第1报)》^[1]

由于上述试验是在不同温度下进行的,而蜂蜜的流变参量受温度的影响又十分显著,很难就此结果对这种蜂蜜进行评估。如果限定所有蜂蜜必须在相同温度下进行测定,会给试验带来不便。因此,必须寻找蜂蜜流变参量与温度的关系,以便将在不同温度下测得的蜂蜜流变参量换算成在规定温度下的流变参量。然后根据各种蜂蜜在规定温度下的流变参量,判断其有关品位。

二、试验结果与分析

与第1报相同,仍用NXS—11型旋转粘度计对八种南京市售蜂蜜进行测定。对仪器仍采用测量系统B:转子外径 3.1774×10^{-2} 米,转筒内径 4×10^{-2} 米,转子高度 5×10^{-2} 米,测量范围 $0.028 \sim 18$ 帕·秒,物料容量 $45 \times 10^{-3} \sim 50 \times 10^{-3}$ 升。

如第1报所述,八种南京市售蜂蜜的通用流变模型为Bingham模型,其状态方程为

$$\tau = \tau_0 + \eta \dot{\gamma}$$

式中 τ —剪应力, p_a .

τ_0 —屈服应力, Pa

η —塑性粘度, Pa·s

$\dot{\gamma}$ —剪切率, s^{-1}

这八种蜂蜜在不同温度下的流变参量如表1, 其表观粘度 η' 与温度T的关系如图1。

表 1 蜂 蜜 在 不 同 温 度 下 的 流 变 参 量

蜂蜜 A						
温 度	屈服应力	塑性粘度	相关系数	显著性	表观粘度	
T(°C)	τ_0 (Pa)	η (Pa·s)	r	$r_{0.001}$	η' (Pa·s)	
8	0.579	5.997	0.998	0.999*	6.110	
15	3.152	2.784	1	0.974	3.189	
20	4.044	1.392	1	0.951	1.617	
25	3.670	0.921	1	0.974	1.055	
30	5.170	0.556	1	0.951	0.675	
40	4.090	0.313	0.999	0.925	0.373	
50	2.147	0.185	0.993	0.974	0.204	
蜂蜜 B						
T(°C)	τ_0 (Pa)	η (Pa·s)	r	$r_{0.001}$	η' (Pa·s)	
10	0.668	3.714	0.999	0.991	3.823	
15	0.234	2.203	1	0.991	2.222	
20	0.123	1.219	1	0.991	1.224	
25	-0.250	0.701	0.999	0.991	0.695	
30	-1.061	0.485	1	0.974	0.468	
45	-1.768	0.236	0.995	0.991	0.222	
50	2.042	0.144	0.999	0.999	0.159	
蜂蜜 C						
T(°C)	τ_0 (Pa)	η (Pa·s)	r	$r_{0.001}$	η' (Pa·s)	
8	0.784	3.356	0.999	0.974	3.457	
15	1.512	1.647	1	0.991	1.738	
20	1.450	1.162	1	0.991	1.226	
25	5.695	0.528	0.998	0.951	0.666	
30	1.530	0.433	1	0.974	0.457	
40	2.536	0.185	1	0.974	0.208	
50	2.225	0.088	1	0.999	0.104	
蜂蜜 D						
T(°C)	τ_0 (Pa)	η (Pa·s)	r	$r_{0.001}$	η' (Pa·s)	
9	0.890	3.182	1	0.974	3.296	
15	0.570	1.580	0.994	0.991	1.614	
20	1.688	1.186	1	0.991	1.261	
25	2.692	0.791	1	0.974	0.865	
30	2.090	0.544	1	0.974	0.588	
40	3.047	0.212	0.998	0.974	0.239	
50	2.537	0.108	0.999	0.999	0.126	

续表 1

蜂蜜 E						
T(°C)	τ_0 (Pa)	η (Pa·s)	r	$r_{0.001}$	η' (Pa·s)	
12	2.068	5.935	1	0.999	6.338	
15	2.974	3.622	0.999	0.991	4.105	
20	0.746	1.904	1	0.991	1.965	
25	1.742	1.469	1	0.991	1.573	
30	2.654	0.824	0.999	0.991	0.910	
40	2.226	0.425	1	0.974	0.460	
50	1.574	0.218	1	0.974	0.232	
蜂蜜 F						
T(°C)	τ_0 (Pa)	η (Pa·s)	r	$r_{0.001}$	η' (Pa·s)	
12	0.375	2.954	1	0.991	2.997	
15	0.372	2.055	1	0.991	2.086	
20	0.412	1.768	1	0.991	1.793	
25	1.288	1.432	0.999	0.974	1.496	
30	2.177	0.795	1	0.974	0.885	
40	2.423	0.365	1	0.974	0.403	
50	4.907	0.151	0.993	0.991	1.191	
蜂蜜 G						
T(°C)	τ_0 (Pa)	η (Pa·s)	r	$r_{0.001}$	η' (Pa·s)	
9	10.55	7.941	0.999	1*	10.34	
15	8.233	5.309	1	0.999	6.912	
20	8.887	3.272	0.999	0.991	4.391	
25	3.474	2.090	1	0.974	2.410	
30	3.331	1.375	0.999	0.999	1.541	
40	4.593	0.582	0.978	0.951	0.688	
50	4.871	0.293	0.999	0.951	0.358	
蜂蜜 H						
T(°C)	τ_0 (Pa)	η (Pa·s)	r	$r_{0.001}$	η' (Pa·s)	
12	0.622	1.173	1	0.991	1.201	
15	2.718	0.976	1	0.991	1.064	
20	1.114	0.818	1	0.974	0.849	
25	1.361	0.451	1	0.974	0.473	
30	1.241	0.317	1	0.974	0.332	
40	2.043	0.159	0.999	0.991	0.176	
50	1.696	0.089	1	1	0.100	

在表 1 中, η' 为表观粘度

$$\eta' = \tau / \bar{\dot{\gamma}}$$

式中 $\bar{\dot{\gamma}}$: 在规定测量范围内剪切率 $\dot{\gamma}$ 的平均值, S^{-1} (图 2)。

从表 1 可以发现: 塑性粘度 η 和表观粘度 η' 均随温度 T 的上升而下降, 但屈服应力 τ_0 随温度 T 变化的规律不显著。八种蜂蜜分别在七种温度下所作 56 次试验中, 除有 2 次 (有 * 号者) 分别在显著性水平 $\alpha = 0.01$ ($r_{0.001} = 0.990$) 和 $\alpha = 0.05$ ($r_{0.005} = 0.997$) 下显著外, 其

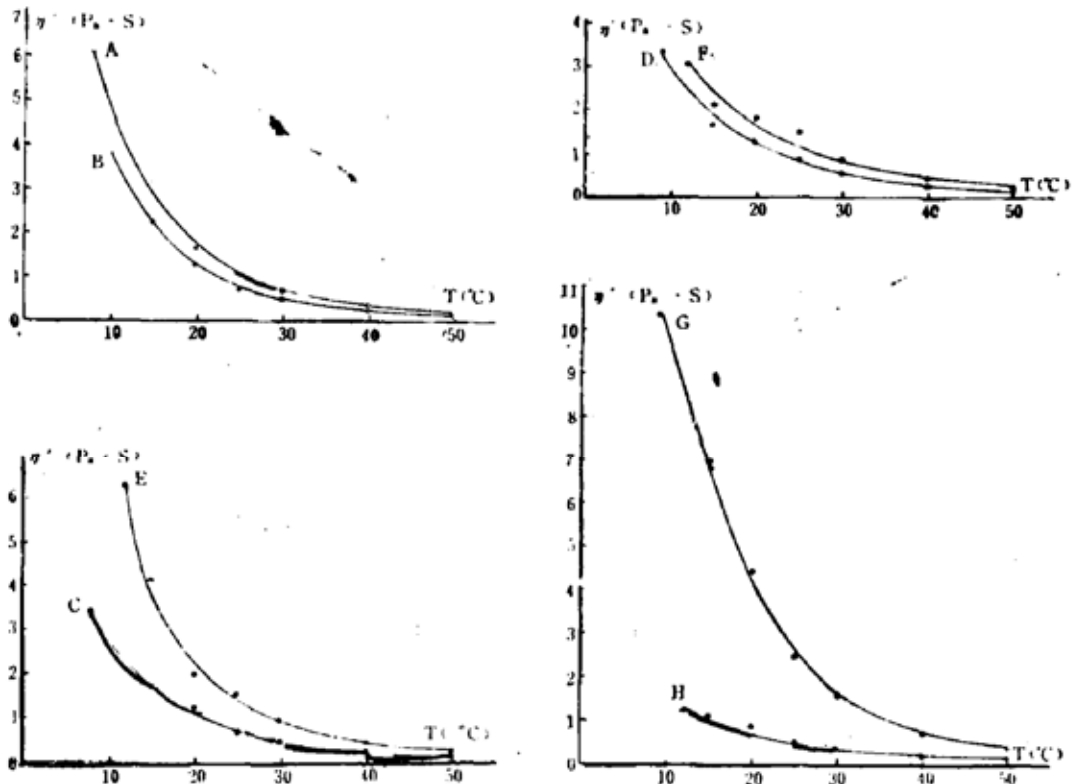


图1 南京蜂蜜的表观粘度与温度的关系

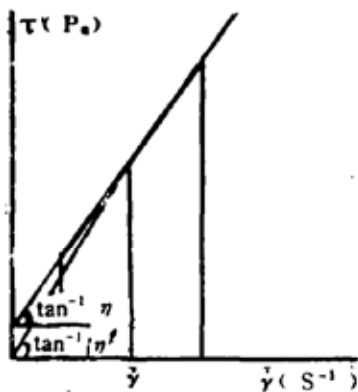


图2 表观粘度

余全部在显著性水平 $\alpha = 0.001$ 下显著。由此可见回归效果是极高度显著的。

从图1中散点分布看，表观粘度 η' 与温度 T 两变量之间存在某种曲线关系，属于一元非线性回归。试以下列回归方程拟合表1试验数据：

$$\eta' = Be^{-AT} \tag{1}$$

并进行显著性检验。为此，须求出系数 A 、 B 。

从方程(1)得：

$$\ln \eta' = \ln B - AT \tag{2}$$

令 $y = \ln \eta'$, $a = -A$, $b = \ln B$, $x = T$, 则方程(2)变换为

$$y = ax + b \tag{3}$$

即将曲线回归变换为线性回归。经计算，回归系数 a 、 b 和相关系数 r 的值列于表2。

由表2可见， $0 < |r| < 1$ ，说明 x 与 y 之间存在线性关系。相关系数， $r < 0$, $a < 0$ ，散点有 y 随 x 增加而减少的趋势，即 x 与 y 负相关。又从显著性检验可知，八种蜂蜜均在显著性水平 $\alpha = 0.001$ 下显著，即回归效果是极高度显著。

值得注意的是，在将曲线变换为直线回归时，需分析所配曲线是否为同类型中“最佳”曲线。为此，据图2散点的特点，选择几种不同函数类型进行计算比较，如幂函数 $\eta' = BT^A$ 型、双曲线 $\frac{1}{\eta'} = B + \frac{A}{T}$ 型、指数曲线 $\eta' = Be^{\frac{A}{T}}$ 型等。计算结果表明方程(1)为最佳选

择。现将所选最佳曲线的“最佳性”的参数列于表 3。

表 2 回归系数和相关系数

编 号	$a = -A$	b	$B = e^b$	相关系数 r	显著性 $r_{0.001}$
A	-0.081	2.253	9.516	-0.988	
B	-0.081	1.894	6.646	-0.981	
C	-0.084	1.824	6.197	-0.997	
D	-0.078	1.781	5.936	-0.997	0.951
E	-0.084	2.598	13.44	-0.983	
F	-0.071	1.962	7.114	-0.993	
G	-0.085	3.104	22.29	-0.997	
H	-0.068	1.035	2.815	-0.995	

表 3 最佳曲线的有关参数

编 号	剩余平方和 Q	剩余标准差 S	相关指数 R^2	相关系数 R
A	1.555	0.558	0.942	0.971
B	0.871	0.417	0.919	0.959
C	0.101	0.142	0.988	0.994
D	0.179	0.189	0.978	0.989
E	2.181	0.660	0.927	0.963
F	0.225	0.212	0.962	0.981
G	0.657	0.368	0.992	0.996
H	0.023	0.068	0.980	0.990

显然，上表中相关指数 R^2 越接近于 1，配该曲线的效果越好。

因此，用方程(1) 即 $\eta' = Be^{-AT}$ 来表示蜂蜜的表观粘度与温度的关系是合适的。

方程(1) 中除自变量 T 和因变量 η' 外，还有两个待定系数。在实际应用中，欲将在不同温度下测得的蜂蜜流量换算成在规定温度下的流变参量，须在不同温度下作两次试验，以求出方程(1) 中的两个系数 A 和 B 。这是很不方便的。为简化方程，可进一步分析表 2 中的回归系数 a 和 b 。显然，系数 b 因蜂蜜品种不同而有差异，但系数 a 的值却很接近。如能将回归系数 a 的均值 $\bar{a} - \bar{A} = -0.079$ 视作常数，则换算将大为简化。为此，先分别计算系数 a 修正后有关各项系数、参数的修正值，如表 4，以分析其可行性。

从表 4 可见，将系数 a 修正为 $\bar{a} = -0.079$ 后，相关系数 R 与修正前相比略有出入。除个别(有*号者)外，大都是相关系数略减少。但八种蜂蜜修正后的相关系数仍在 0.935~0.990 之间，相关性仍是较好的。

因之，回归方程(1) 可简化为下列经验公式，以表示蜂蜜表观粘度与温度的关系：

$$\eta' = Be^{-0.079T} \quad (4)$$

式中 η' ——表观粘度，Pa·s

T ——温度， $^{\circ}\text{C}$

B ——系数

于是，只要在任何室温下测得某种蜂蜜的表观粘度，即可由公式(4)求得系数 B ，并换算出在规定温度下这种蜂蜜的表观粘度。

表4 各系数、参数的修正值

编 号	\bar{x}	b	B=e ^b	Q=Σdi ²	S = √ $\frac{Q}{n-2}$	R ²	相关系数 R	
							修正后	修正前
A	-0.079	2.199	9.016	2.069	0.642	0.923	0.961	0.971
B		1.840	6.297	1.112	0.472	0.896	0.947	0.959
C		1.690	5.419	0.362	0.259	0.957	0.978	0.994
D		1.808	6.098	0.154	0.175	0.981	0.990*	0.989
E		2.461	11.72	3.739	0.865	0.874	0.935	0.963
F		2.181	8.855	0.648	0.360	0.891	0.944	0.981
G		2.942	18.95	2.670	0.731	0.987	0.983	0.996
H		1.337	3.808	0.094	0.137	0.919	0.959	0.990

例如：测得蜂蜜A在T = 25℃时的表观粘度为 $\eta'_{25} = 1.055$ ，可换算出它在20℃时的表观粘度。

先从公式(4)计算系数B。

从公式(4)可得 $\ln\eta' = \ln B - 0.079T$

故

$$\begin{aligned} \ln B &= \ln\eta' + 0.079T \\ &= \ln 1.055 + 0.079 \times 25 = 2.029 \end{aligned}$$

从而

$$B = 7.606$$

再从公式(4)换算在20℃时的表观粘度。

$$\eta'_{20} = B e^{-0.079T} = 7.606 e^{-0.079 \times 20} = 1.567$$

实测值为 $\eta'_{20} = 1.617$

两者相差仅 $\delta = 0.050 \text{ Pa}\cdot\text{s}$

参 考 文 献

- (1) 潘君拯、谭群：南京市售蜂蜜的流变特性（第1报）——蜂蜜的流变模型

RHEOLOGICAL CHARACTERISTICS FOR HONEYS ON NANJING MARKET (2)

—Relations between Apparent Viscosity and Temperature for Honeys

Pan Jun-zheng Tan Qun

(Nanjing Agricultural University)

ABSTRACT

According to experiment, it is found that a relationship between apparent viscosity η' (Pa·s) and temperature T ($^{\circ}\text{C}$) for Nanjing honeys is existed as following formula:

$$\eta' = Be^{-AT} \quad (1)$$

where A and B are coefficients to be determined by experiments.

Further analyses show that the above formula can be rewritten into following simpler form:

$$\eta' = Be^{-0.079T} \quad (2)$$

where 0.079 is the mean value of coefficient A .

The apparent viscosity for a honey at a specified temperature can be calculated according to formula(2) after its apparent viscosity has been measured at a certain room temperature.