

# 巧克力形状：食品微观结构拓扑视角

来源: arXiv

日期: 2026-03-29

DOI: -

链接: <https://arxiv.org/abs/2603.27854v1>

## 【中文标题】

巧克力形状：食品微观结构拓扑视角

## 【研究背景】

巧克力在制作过程中，可可脂的分子自组织对其品质至关重要。本研究旨在通过拓扑数据分析（TDA）来描述黑巧克力调温过程

## 【研究方法】

研究采用基于物理的粒子模拟模型，模拟了 $N=100$ 个甘油三酯分子在 $15--60^{\circ}\text{C}$ 的温度范围内，覆盖了可可脂的六种结晶多形性（ $V_1$ 至 $V_6$ ）。使用Vietoris-Rips滤波并计算持久同伦群 $H_0$ （连通分量）、 $H_1$ （独立回路）和 $H_2$ （3D空腔）。通过持久熵 $E = -\sum_i p_i \log_2(p_i)$ 分析，其中 $p_i = l_i / \sum_j l_j$ ， $l_i = \text{death}_i - \text{birth}_i$ 表示特征寿命；根据标准持久熵惯例（Rucco 2026），将基本类别分配给死亡 =  $m+1$ （ $m = \text{eps}_{\text{max}}$ ）。

## 【主要发现】

研究发现，形式V（最佳调温多形性， $29.5--34^{\circ}\text{C}$ ）具有独特的拓扑特征： $H_0$ 持久熵（ $E_0 = 5.74 \pm 0.04$  bits）的局部最小值、第2级持久熵（ $E_2 = 12.29 \pm 0.25$  bits）的显著下降和 $H_2$ 熵（ $E_2 = 12.29 \pm 0.25$  bits）的全局最小值，反映了层间层状空腔的有序性。这些发现表明，基于TDA的调温过程的非侵入性质量指标。

## 【临床意义】

本研究为巧克力调温过程提供了新的质量评估方法，有助于提高巧克力产品的品质。