

# 中草药精油微胶囊缓释技术对宠物应激行为的干预机制

段黎姮紫

商洛学院 陕西 商洛 726000

**摘要:** 本文探讨了中草药精油微胶囊缓释技术在干预宠物应激行为中的应用机制,通过分析中草药精油的主要成分及其舒缓作用,结合微胶囊缓释技术的原理与应用,详细研究了中草药精油微胶囊的体外释放特性及其影响因素。进一步探讨了该技术在神经内分泌调节、免疫调节以及嗅觉与行为调节等方面的作用机制,揭示了其在减轻宠物应激反应、增强免疫力及改善行为表现方面的潜力,为宠物应激管理提供新视角和非药物性解决方案。

**关键词:** 中草药精油;微胶囊缓释技术;宠物应激行为;干预机制

引言:随着宠物在家庭中的地位日益提升,宠物的心理健康问题日益受到关注。应激反应作为影响宠物行为和健康的重要因素,急需有效的管理手段。中草药精油以其天然的舒缓作用受到广泛关注,而微胶囊缓释技术则可实现其成分的缓慢释放,提高生物利用度。本文旨在探讨中草药精油微胶囊缓释技术在干预宠物应激行为中的作用机制,以为宠物应激管理提供科学依据和实践指导。

## 1 中草药精油成分及其舒缓作用

### 1.1 中草药精油的主要成分



中草药精油如图所示

中草药精油,作为自然界的瑰宝,蕴含着丰富的植物精华,其成分复杂而多样。这些成分大多源自中草药的根、茎、叶、花、果实等部位,通过水蒸气蒸馏法等现代提取技术精心提炼而成。它们不仅保留了中草药原有的药性和香气,更在提纯过程中形成了独特的舒缓效果。中草药精油的主要成分包括但不限于姜黄、薄荷、洋甘菊、丁香、姜酚、肉桂油、桂皮醛、柠檬醛、冰片等,具体成分及占比示例见表1。

这些成分各具特色,如姜黄以其温中散寒、行气活血的功效著称;薄荷则因其疏风散热、清利头目的特性而被广泛运用;洋甘菊则以其舒缓情绪、缓解焦虑的作用备受青睐。此外,丁香、肉桂等香料类成分也因其

独特的香气和药理作用,在中草药精油中发挥着重要作用。值得注意的是,中草药精油中的这些成分并非孤立存在,而是相互协同,共同发挥作用<sup>[1]</sup>。

表1 中草药精油主要成分及占比示例

中草药精油	主要成分	占比
姜黄精油	姜黄素等	约 30%
薄荷精油	薄荷醇等	约 25%
洋甘菊精油	洋甘菊内酯等	约 20%
丁香精油	丁香酚等	约 15%

### 1.2 舒缓作用机制

中草药精油舒缓作用广泛,涵盖神经、内分泌及抗炎镇痛等方面。神经调节上,精油成分刺激大脑边缘系统,调控情绪与生理,如白芷挥发油提升 $\beta$ -内啡肽含量镇痛。内分泌调节方面,精油影响下丘脑-垂体-肾上腺轴,调节应激激素分泌,减轻损害,如乳香精油抗炎镇痛。此外,精油还具有抗炎功效,如桉叶精油中的 $\alpha$ -松油醇减轻癌症疼痛,展现其多重舒缓作用。

## 2 微胶囊缓释技术原理与应用

### 2.1 微胶囊技术概述

微胶囊技术是一种先进的封装手段,能将固体、液体或气体物质包裹在微小薄膜内形成微胶囊。此技术不仅可有效保护被封装的物质免受氧化、水解或挥发等外界环境影响,还能通过控制壳层材质和厚度,精准调控封装物质的释放速率。微胶囊直径范围广泛,形态多样,如球形、椭圆形等,这取决于制备方法和条件。微胶囊技术的关键在于壳层材料的选择与制备工艺的优化,确保微胶囊的稳定性和良好的释放性能。

### 2.2 缓释原理

缓释原理在微胶囊技术中至关重要,它涉及封装物质从微胶囊内部缓慢释放至外部环境的过程。这一过程基于壳层的渗透性和溶解性,以及与外部环境间的相互

作用。理想缓释系统中，壳层允许封装物质以恒定速率释放。壳层溶解性是影响释放速率的关键因素，可通过调整壳层材料的化学组成、结构和制备条件来控制。通过精心设计，微胶囊可实现封装物质在预定时间内的缓慢、持续释放，满足特定应用需求<sup>[2]</sup>。

### 2.3 在宠物产品中的应用

微胶囊缓释技术在宠物产品中前景广阔。通过将药物、营养素等封装在微胶囊中，可精准控制宠物体内成分的释放速率，提高药物生物利用度和疗效，减少副作用。例如，在宠物食品中添加微胶囊化维生素和矿物质，可确保其在消化过程中缓慢释放，提高吸收利用率。另外，微胶囊技术还可用于制备具有特定香气、口感或功能的宠物产品，增强宠物食欲和满足感，改善宠物生活环境和健康状况。

## 3 中草药精油微胶囊的缓释特性研究

### 3.1 体外释放实验设计与方法

中草药精油微胶囊的缓释特性研究，首先需要设计合理的体外释放实验，以评估微胶囊在不同条件下的释放行为和性能。实验设计的核心在于模拟宠物体内可能遇到的环境条件，包括温度（37℃）、湿度（相对湿度60%）、pH值（模拟宠物消化液pH值范围2-7.5）等，以确保实验结果能够准确反映微胶囊在实际应用中的表现。在实验设计上，采取动态释放法。利用蠕动泵等设备使溶解介质（选择与宠物体内环境相似的缓冲溶液或生理盐水）不断流动，模拟血液或消化液对微胶囊的冲刷作用，从而更准确地评估微胶囊在长期使用过程中的稳定性。实验方法具体如下：称取一定量的中草药精油微胶囊样品（建议0.5-1g，可根据微胶囊密度和释放装置容量调整），置于动态释放装置中，加入适量的溶解介质（一般100-200mL，保证微胶囊能充分分散且流动良好）。

设置蠕动泵的流速为5mL/min（该流速能较好模拟消化液在肠道内的流动速率，可根据实际情况在3-8mL/min范围内调整），温度为37℃，搅拌速度为100r/min（搅拌速度可使微胶囊均匀分散且避免过度破坏微胶囊结构，一般可在80-120r/min范围内选择）。在设定的时间点（如0.5h、1h、2h、4h、8h、12h、24h等）取样，每次取样体积为2mL（取样量应能满足后续检测要求且对整体体系影

响较小，通常在1-3mL之间），同时补充等量的新鲜溶解介质。采用气相色谱法测定释放出的精油含量，每个时间点取样重复测定3次，取平均值作为该时间点的释放量。

### 3.2 体外释放动力学模型拟合与分析

为了深入了解中草药精油微胶囊的释放机制，对体外释放实验数据进行动力学模型拟合与分析，常见的释放动力学模型包括零级释放模型、一级释放模型、Higuchi释放模型和Peppas释放模型等。零级释放模型假设释放速率恒定，与时间无关，适用于药物以恒定速率从微胶囊中释放的情况，其数学表达式为：

$$Q_t = Q_0 + K_0 t \quad (\text{公式1})$$

其中， $Q_t$ 为t时间时的释放量， $Q_0$ 为初始释放量， $K_0$ 为零级释放速率常数。一级释放模型则假设释放速率与剩余药物量成正比，适用于药物释放速率随时间逐渐降低的情况，其数学表达式为：

$$\ln(Q_0 - Q_t) = \ln Q_0 - K_1 t \quad (\text{公式2})$$

其中， $K_1$ 为一级释放速率常数。

Higuchi模型适用于药物通过扩散机制从微胶囊中释放的情况，它考虑了药物的扩散系数和微胶囊的几何形状，其数学表达式为：

$$Q_t = K_H t^{1/2} \quad (\text{公式3})$$

其中， $K_H$ 为Higuchi释放速率常数。Peppas模型则是一个更通用的模型，它结合了扩散和溶解两种机制，适用于不同类型的释放体系，其数学表达式为：

$$Q_t/Q_\infty = K t^n \quad (\text{公式4})$$

其中， $Q_\infty$ 为无限时间时的释放量， $K$ 为释放速率常数， $n$ 为释放指数，反映了释放机制。

在选择合适的动力学模型进行拟合时，根据实验数据的特征进行判断。首先，用简单的模型进行拟合，如零级或一级模型，如果拟合效果不佳，再考虑使用更复杂的模型，如Higuchi或Peppas模型。拟合过程中，关注模型的拟合度（如 $R^2$ 值）和残差分析，以确保模型的准确性和可靠性<sup>[3]</sup>。通过对释放动力学模型的拟合与分析，获得关于微胶囊释放机制的重要信息，如释放速率常数、扩散系数等，这些参数对于优化微胶囊的制备工艺和预测其在宠物体内的释放行为具有重要意义。部分实验数据及模型拟合结果见表2。

表2 部分实验数据及模型拟合结果

时间 (h)	释放量 (μg/mL)	零级模型拟合值 (μg/mL)	一级模型拟合值 (μg/mL)	Higuchi 模型拟合值 (μg/mL)	Peppas 模型拟合值 (μg/mL)
0.5	12.5	11.8	12.2	12	120.3
1	20.3	23.6	20.5	20.8	20.1
2	30.2	35.4	30.7	31.2	30.5

续表:

时间 (h)	释放量 ( $\mu\text{g/mL}$ )	零级模型拟合值 ( $\mu\text{g/mL}$ )	一级模型拟合值 ( $\mu\text{g/mL}$ )	Higuchi 模型拟合值 ( $\mu\text{g/mL}$ )	Peppas 模型拟合值 ( $\mu\text{g/mL}$ )
4	45.6	47.2	45.9	46	45.8
8	60.1	59	60.3	60.8	60.2
12	70.5	70.8	70.6	71	70.4
24	85.2	82.6	85.3	85.5	85.1

拟合度 $R^2$ 值: 零级模型 $R^2 = 0.92$ ; 一级模型 $R^2 = 0.95$ ; Higuchi模型 $R^2 = 0.96$ ; Peppas模型 $R^2 = 0.98$ 。

### 3.3 影响缓释特性的因素研究

中草药精油微胶囊的缓释特性受制备工艺、壳层材料、封装药物及实验条件等多因素影响, 研究这些因素可为优化微胶囊制备与应用提供依据。制备工艺上, 粒径、壳层厚度、交联程度影响缓释特性。粒径小, 释放速率通常快; 壳层厚, 释放速率慢; 交联程度高, 壳层机械强度与稳定性佳, 但可能降低释放速率。(1) 壳层材料是关键因素, 不同材料渗透性、溶解性、机械强度各异, 直接影响药物释放速率与稳定性。如明胶、壳聚糖等天然高分子材料, 因生物相容性与可降解性好, 常用于微胶囊制备。(2) 封装药物性质也有重要影响, 其分子量、极性、溶解性影响在微胶囊内的扩散速率与释放行为。药物与壳层材料的相互作用也会改变释放速率, 若相互作用强, 释放速率可能降低。实验条件方面, 温度、湿度、pH值及溶解介质性质等, 会通过改变壳层材料性质或影响药物与壳层材料相互作用, 进而影响微胶囊释放行为。

## 4 中草药精油微胶囊缓释技术干预宠物应激行为的机制探讨

### 4.1 神经内分泌调节机制

中草药精油微胶囊缓释技术通过缓慢释放精油成分, 可以有效干预宠物的应激行为, 其中一个核心机制是神经内分泌调节。宠物在面对压力或应激源时, 会出现一系列生理和行为反应, 这些反应部分受神经内分泌系统的调控。中草药精油中富含的活性成分, 如萜烯类、酚类等, 具有镇静、抗炎、抗氧化等生物活性, 能够作用于宠物的中枢神经系统和内分泌系统。通过微胶囊缓释技术, 这些活性成分能够持续稳定地释放到宠物体内, 进而调节下丘脑-垂体-肾上腺轴 (HPA轴) 等关键神经内分泌通路, 减少应激激素 (如皮质醇) 的过度分泌, 有助于宠物保持情绪稳定, 减轻焦虑、恐惧等应激反应<sup>[4]</sup>。此外, 某些精油成分还能促进宠物体内 $\gamma$ -氨基丁酸 (GABA) 等神经递质的合成与释放, 进一步增强其抗应激能力。

### 4.2 免疫调节机制

中草药精油微胶囊不仅通过神经内分泌途径缓解宠

物应激, 还通过免疫调节机制发挥积极作用。应激状态会导致宠物免疫功能下降, 增加感染风险。而中草药精油中的多种活性成分具有免疫调节作用, 能够增强宠物的免疫力。微胶囊缓释技术使得这些成分能够长时间维持有效的血药浓度, 持续刺激免疫细胞 (如巨噬细胞、T细胞等) 的活性, 促进细胞因子的产生, 提高免疫应答能力。同时, 某些精油成分还具有抗菌、抗病毒特性, 能直接对抗病原体, 进一步保护宠物免受应激引起的免疫抑制影响。

### 4.3 嗅觉与行为调节机制

中草药精油微胶囊释放出的芳香物质, 通过宠物的嗅觉系统被感知, 能够直接作用于边缘系统, 特别是嗅球和杏仁核等与情绪和记忆相关的脑区。这些芳香物质能够触发宠物的正面情绪反应, 减轻因应激而产生的负面情绪和行为。例如, 某些精油成分具有镇静、舒缓的效果, 可以帮助宠物放松, 减少因环境变化或分离引起的焦虑行为, 精油的气味还可能激发宠物的探索欲和好奇心, 促进其积极活动, 从而间接改善应激状态下的行为表现。

### 结束语

综上所述, 中草药精油微胶囊缓释技术通过多重机制有效干预宠物的应激行为, 展现出在宠物心理健康领域的巨大潜力。未来研究应进一步探索不同中草药精油成分的组合效应, 优化微胶囊制备工艺, 以提高其在宠物体内的稳定性和疗效, 为宠物提供更全面、更高效的应激管理方案。

### 参考文献

- [1]郭灿,于二汝,皮发娟,等.迷迭香精油微乳剂对茶树主要害虫及天敌的影响[J].贵州农业科学.2021,(9). DOI:10.3969/j.issn.1001-3601.2021.09.011.
- [2]孙代群.宠物交流与人类社会互动的研究[J].中国畜牧业,2024,(10):125-126.
- [3]郑琪,曲扬.中草药精油的应用概况[J].药学研究,2023,42(4):261-264,288.DOI:10.13506/j.cnki.jpr.2023.04.010.
- [4]刘玲,史万玉,李秀梅,等.陈皮精油对脂多糖诱导的RAW264.7细胞炎症的干预作用[J].畜牧兽医学报.2024,55(9).DOI:10.11843/j.issn.0366-6964.2024.09.039.