

近日,最新一期《自然-微生物学》杂志发表的研究揭示,巧克力的迷人醇香风味并非“天赐”,而是微生物群落发酵可可豆的产物,该研究也成为食品科学领域一大突破。

研究团队利用9种微生物组成的“合成群落”,在实验室中成功复制出高品质巧克力的风味特征。这项成果有望推动巧克力工业化生产的标准化,让更多人品尝到风味一致的高端巧克力。

# 你喜爱的巧克力风味 竟是微生物群落的「魔法缔造」?



比利时巧克力甜品。新华社资料图片



比利时布鲁塞尔一家商店的巧克力甜品。新华社资料图片

## 1

### 微生物发酵的「魔法」

作为全球最受欢迎的甜食之一,巧克力的生产始于可可树的果实——可可豆。新鲜可可豆未经处理时,味道苦涩,难以下咽,只有通过发酵后,可可豆才能转化为带有丰富风味的原料。

传统发酵通常在农场进行:将可可豆装进木箱或堆积起来,覆盖香蕉叶,随后自然界的微生物群落便开始“工作”。这种自然发酵赋予了巧克力独特的地域特色,但也带来了问题——不同产地、气候和土壤条件下的微生物差异,可能导致不同地域的巧克力成品风味差异很大,风味可能有“细腻花香”,也可能“平淡无味”。

传统发酵依赖于自然界微生物,包括细菌如醋酸细菌和乳酸细菌,以及真菌如酵母菌。这些微生物通过代谢分解可可豆中的糖、蛋白质和多酚类物质,产生挥发性化合物。然而,这种自然过程难以控制,温度、酸碱度或微生物互动的细微变化,都可能影响风味,影响产量和品质。

过去,科学家尝试研究单一微生物或简单混合的效果,但始终无法完全模拟自然发酵。这项新研究首次通过“合成微生物群落”实现了突破,证明实验室条件下的可控发酵能再现优质巧克力风味。这不仅解开了微生物与风味形成的奥秘,还为巧克力产业的标准化生产提供了可能。

## 2

### 构建「合成微生物群落」

这项研究由英国诺丁汉大学生物科学学院领衔,联合哥伦比亚当地研究机构完成。团队选取了哥伦比亚三个不同产区的农场——桑坦德、维拉和安蒂奥基亚作为研究起点。这些地区因气候、地形和土壤差异,代表了多样化的可可产地。

研究人员解释:“发酵是一个自然的、由微生物驱动的过程,通常直接在可可农场进行。收获的可可豆被堆放在箱子或篮子里。在这样的环境中,自然产生的细菌和真菌会分解可可豆,产生构成巧克力最终口味和香气的关键化学成分。然而,这种自发发酵基本上不受控制,农民几乎无法控制哪些微生物占主导地位,也无法控制发酵过程如何进行。因此,发酵过程以及由此产生的可可豆的风味和品质,在不同收获农场、地区和国家之间差异很大。”

该研究分为两阶段:实地监测和实验室模拟。在农场,团队采用传统发酵方式,将新鲜可可豆放入木箱,覆盖香蕉叶,每隔48小时和96小时翻动一次。

其间,科学家每日记录温度和酸碱度变化,并从发酵豆及周围环境(如空气、土壤)中采集样本。通过高通量基因测序技术,分析了微生物群落的动态变化。结果显示,发酵过程中微生物多样性逐渐下降,关键种类包括醋酸细菌、乳酸细菌和糖酵母菌。

基于这些数据,研究者筛选出9种微生物(5种细菌、4种真菌),构建了一个“合成微生物群落”。这个群落覆盖了自然发酵中55.6%的微生物种类和94.9%的代谢功能。

在实验室中,团队将这一群落接种到灭菌可可豆上,模拟农场条件,控制温度和酸碱度环境。此外,他们还进行了“单菌剔除”实验,逐一移除某种微生物,观察对整体群落和风味的影响。最终,由专业品评师对巧克力液的风味进行感官评估。

## 3

### 温度、酸碱度与微生物如何协同作用?

研究结果令人振奋:合成微生物群落成功再现了农场发酵的动态过程。发酵过程中,温度呈S形上升,酸碱度先下降后回升,这些变化与微生物代谢密切相关。例如,乳酸细菌产生酸性物质降低酸碱度,酵母菌则分解糖类,产生热量和酒精。

在风味方面,合成群落发酵的样品富含高品质巧克力的标志性化合物:吡嗪类(带来甜美和咸鲜风味)、乙醛(带来果香)、酯类(如乙酸乙酯,带来花香和焦糖调)。感官测试表明,这些样品的风味与桑坦德和维拉产地的巧克力相当,甚至可媲美马达加斯加的高端产品。

研究发现,特定酵母菌与“轻木、花香和焦糖”风味高度相关,而醋酸细菌则推动酸化,促进细胞壁分解和风味释放。

产地差异也影响微生物群落的组成:安蒂奥基亚地区的微生物群落差异最大,可能因其独特气候导致风味偏离。单菌剔除实验进一步证明,微生物群落的稳定性依赖于细菌与真菌的相互作用,移除关键菌种会显著改变酸碱度和化合物产量,凸显了微生物“团队合作”的重要性。

此外,温度和酸碱度被证明是预测风味的关键指标:较低酸碱度和适度升温促进果香形成,高温则增强烤香。这些发现通过统计分析得到验证。

标准化发酵能减少对特定产地的依赖,推动可持续生产。有行业专家预测,这一技术可与基因编辑或精准农业结合,进一步优化风味。

这项研究为巧克力产业提供了“起始菌种”的蓝图,类似啤酒酿造或奶酪生产中的标准化做法。生产商可通过接种合成微生物群落,减少批次间的风味差异,让高品质巧克力更易得、更实惠。

华西都市报-封面新闻记者 边雪



德国柏林一家甜品店店主在制作巧克力。新华社资料图片