

“糖刹车”基因破除番茄产量与品质悖论

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/30504.html>

本文仅供学习交流之用，版权归原作者所有，请勿用于商业用途！

“糖刹车”基因破除番茄产量与品质悖论。

番茄是世界上产值最高的蔬菜作物，因风味独特深受喜爱。然而今天的消费者常常抱怨“番茄越来越没有番茄味了”。

“糖含量是风味的首要因素，但是糖含量与果实大小负相关，产量和品质是一对矛盾，现有番茄商业品种，尤其是大果番茄中糖含量普遍偏低。”中国科学院院士、中国农业科学院研究员黄三文说，如何在不影响番茄产量的前提下培育美味的番茄品种，是各国育种家努力追求的目标。



育种家培育的美味番茄新品种。受访者供图

?

11月14日，中国农业科学院深圳农业基因组研究所、蔬菜花卉研究所及山东省农业科学院蔬菜研究所联合在《自然》发表论文，通过全基因组关联分析，鉴定到一个抑制果实糖积累的刹车基因

CDPK27及其同源基因CDPK26。基因编辑这两个基因，可使番茄果实糖含量增加30%，且不影响单果重和单株产量。

《自然》同期配发了美国加利福尼亚大学伯克利分校教授Patrick Shih和博士后Amy Lanctot的评论，认为该研究为理解果实能量分配迈出了令人兴奋的一步，将为作物改良提供借鉴。

《科学》论文的延续性研究

2017年，黄三文团队联合美国科学院院士、佛罗里达大学教授Harry Klee在《科学》发表论文。他们发现了番茄中影响31种风味物质的49个关键位点。其中两个位点和番茄的糖含量相关、5个和酸含量相关。

当时找到了遗传位点，但没有克隆到相关基因。黄三文深知，这仅是解决番茄风味问题的第一步。

“我们关注的是蔬菜品质问题，而番茄的品质问题主要就是风味。”论文通讯作者黄三文说，风味这种性状看不见、摸不着，难以衡量，在育种过程中缺乏有效遴选手段。

糖含量是影响番茄口感的重要因素，大多数消费者更喜欢偏甜的番茄。“人类对于甜味的喜好是刻在基因里的。”黄三文说，找到控制糖含量的基因，是解决番茄风味问题首先要攻克的难关。

番茄果实中的糖主要以果糖和葡萄糖的形式积累。在果实成熟过程中，叶片光合作用的产物不断以蔗糖形式运输至果实，再通过蔗糖合酶、转化酶等分解为果糖和葡萄糖，从而不断积累果实糖分。

“在果实成熟过程中，糖含量并不会持续增加，尤其在果实转色后，反而会有些许降低。”论文第一作者、中国农业科学院蔬菜花卉研究所副研究员张金喆说，抑制果实糖分积累的分子机制尚不清楚。

《科学》论文的线索需要继续跟进。为了拿到准确的田间数据，研究团队先后在北京、山东、广东等地广泛种植番茄材料，连续5年调查了近3000株共计2万余个番茄果实的表型。

鱼和熊掌可以兼得

利用基因编辑技术，研究团队共获得了3个突变体。

“当时我们发现，候选基因CDPK27的3个突变体中糖含量比对照组更高。”黄三文猜测这可能就是他们要寻找的目标基因。

他们后来发现，CDPK27基因在番茄果实成熟过程中表达量不断提高，可以通过磷酸化蔗糖合酶SUS3促进其降解，从而抑制葡萄糖和果糖在果实中积累。

2022年，团队完成论文初稿，并投给《科学》。评审专家认为，现有研究数据不能解释1号突变体上产生更高糖含量的原因，因此拒收他们的论文。

“那段时间是崩溃的。”张金喆一方面觉得挺好的研究成果“被拒”有点可惜，另一方面又觉得

评审意见有道理，工作做得还不够细致。

通过研究，他们发现，1号突变体中的CDPK27缺失了6个碱基，丧失了与ATP结合的两个关键氨基酸，使自身的激酶活性受到很大影响。

接下来，他们找到一个和CDPK27进化关系最近的基因CDPK26。CDPK26也能像CDPK27那样通过磷酸化蔗糖合酶SUS3促进其降解，从而抑制葡萄糖和果糖在果实中积累。

张金喆解释说，在2号突变体中，CDPK27发生了突变，完全丧失了功能，但CDPK26还能继续工作，对糖积累的刹车作用还存在；而在1号突变体中，CDPK27的另一种基因型不仅自身不能磷酸化蔗糖合酶SUS3，还可通过干扰CDPK26对SUS3的磷酸化，保护SUS3蛋白不被降解，从而实现比传统突变更好地提高果实糖含量的效果——可提高葡萄糖含量35%、果糖含量30%。

也就是说，1号突变体中的优异等位基因“不仅管自己，还管别人”，让两个刹车基因同时失效，于是番茄变得更甜了。

这个发现让他们非常激动。“这是一种新的机制。”黄三文说，基因功能冗余现象在植物中很常见，通过基因编辑技术创制更多的优异等位基因，将有可能干扰其同源基因的功能，从而实现更好的作物遗传改良效果。

研究团队开始组织新实验，从各种角度验证双刹车基因的功能。结果发现，双突变体中，CDPK27/26基因编辑后的植株可显著提高SUS3蛋白的稳定性，并使葡萄糖和果糖含量进一步提升。

更重要的是，果实大小和单株产量没有显著变化。

“过去育种家认为产量和品质是育种上的一对矛盾。产量高了，品质就会下降，或者产量高了，抗性就会下降。”黄三文告诉《中国科学报》，他们这项研究为改变这种状况提供了一条新思路，说明只要找到了相关调控基因，鱼和熊掌可以兼得。

获得《自然》审稿人肯定

投出论文之前，他们又审视了一遍实验数据，发现高糖型番茄中CDPK27的表达量普遍偏低。

在番茄驯化和改良过程中，由于人们过多选择了大果基因型，从而导致高糖位点的频率从野生番茄的58.3%下降到现代大果番茄的2.6%。

“野生番茄都是小果，糖含量很高。而现代番茄经过驯化，糖含量大大下降。”论文共同第一作者、山东省农业科学院蔬菜研究所助理研究员吕宏君说，这项工作揭示了现代番茄品种风味降低的直接原因。

论文作者、现任职于中国农业科学院深圳农业基因组研究所的Klee则提出了另一个问题：果实重量不变的情况下，糖含量增加的来源是什么，也就是说糖从哪里来？

黄三文认为，番茄果实在成熟过程中首先要保障种子有足够的能量供应，CDPK27/26在果实成熟过程中抑制糖分积累，很可能是为了确保种子后期的正常发育。

他们发现，突变体中的番茄种子数量减少、重量减少。“虽然我们还没有证明种子的变化和果肉中糖含量变化是因果关系，但是二者互相关联。”论文共同第一作者、中国农业科学院农业基因组研究所博士后陈洁说，番茄种子在果实转色期后就已成熟，后期不需要过多能量供应。进一步实验发现，突变体的种子萌发率没有显著变化。

他们又测算了CDPK27/26基因编辑植株的光合效率，发现基本没有变化。“这说明光合产物在果实和种子间可能发生了重新分配，为通过操控种子数量和大小提高果实糖含量提供了新的解决方案。”黄三文说。

进一步研究发现，CDPK这个家族的基因在所有植物中都是保守的，在苹果和梨中也鉴定到它的同源蛋白。

这一次，他们投给了《自然》，审稿人对他们的工作表示了高度肯定。

中国科学院院士、中国科学院植物研究所研究员种康认为，这项工作通过对数量性状的分析，找到了一个控制品质的核心基因及优异的等位变异，有眼前一亮的感觉。

中国科学院院士、清华大学教授谢道昕说，下一步可以和育种家合作，让基础研究的重大突破为社会重大需求创造更大的经济效益。

相关论文信息：

<https://doi.org/10.1038/s41586-024-08186-2>

作者：李晨 来源：中国科学报

更多 科学进展 请访问 <https://www.iikx.com/news/progress/>

本文版权归原作者所有，请勿用于商业用途，[爱科学iikx.com](https://www.iikx.com)转发