

动物采食生理特点 及采食量调控技术研究的新进展

金立志 倪冬娇 高增兵

摘要：采食量是限制动物生产性能及基因潜力发挥的最主要因素之一。提高动物采食量，尤其是猪的采食量已逐渐成为动物营养生理研究的一大热点。嗅觉和味觉（在视觉的帮助下）是辨别和摄取食物的第1感觉系统。而最终采食行为则主要依靠其口腔内的化学感受器和能快速反应食物愉悦与否的嗅上皮细胞。无机离子、单糖和多糖、氨基酸和多肽、食物中的毒素等都能影响动物的采食行为。本文综合讨论了动物的嗅觉和味觉对采食量的影响及如何对采食量进行调控，重点比较了猪与人类的嗅觉和味觉细胞受体和神经刺激方面的差异，并概述了当前和将来与适口性有关的研究问题。

关键词：嗅觉；味觉；采食量

1 动物味觉和嗅觉生理学研究概况

在嗅觉方面，有证据显示动物从水生到陆地进化时已经具有感觉空气中挥发性元素的能力。高等脊椎动物，特别是哺乳类，具有较大面积的嗅觉区和较多的嗅觉细胞和嗅觉遗传基因，但人类与其他多数哺乳动物相比表现出较低的趋势。例如，对丁酸的最低感受浓度（每cm³空气中含有的分子数），狗为104而人为1013（Leibetseder, 1978）。

在味觉方面，鱼类（或水生类）只是进化到能分化出一系列较宽范围的分子。相反，人和非灵长类哺乳动物甚至鸟类的最初的5种味觉（甜、苦、酸、咸、鲜）和味觉感受机制似乎很相似。猪有3种不同形状的味觉突起（菌状、杯状、叶状），每个突起有成千上万个味蕾。每个味蕾有50~150个味觉细胞，每个味觉细胞有大量微绒毛突起伸进舌粘膜。每个味蕾上的细胞能够辨认所有5种基本味觉，但是一个细胞只表达其辨认的一种味觉受体蛋白。受体蛋白在微绒毛细胞膜上，与口腔中的可溶性化学物相接触。当受体蛋白与其特异性配位基结合时，引发细胞内发生一系列的生化反应，刺激感觉神经而使感觉神经发出突触信号，信号脉冲式传导到对应的大脑皮层区。菌状突起基本上受鼓索神经（CT）支配，杯状和叶状突起主要受舌咽神经（NG）支配。

表1 不同动物的味蕾数估计

种类	数目	参考资料
鸭	200	Leibetseder, 1978
鸡	316	Ganchrow and Ganchrow, 1985
猫	473	
狗	1706	
人	6974	Miller and Bartoshuk, 1991
猪	20000*	
山羊	15000	
兔	17000	
母牛	25000	

* Chamorro et al. 1993

然而，口腔（主要是舌头、会厌、上腭）上突起的分布和每个突起上的味蕾数因动物种类不同而异。比较解剖学研究发现，在哺乳动物中，猪有较多的味蕾（表1）。与人相比，猪的味蕾数更多，

分别为菌状（猪5 000个，人类1 600个），杯状（猪>10 000个，人类6 000个）和叶状（猪4 800个，人类3 000个）（Hellekant and Danilova, 1999）。总体上，猪的味蕾数是人的3~4倍。

1.1 猪的味觉生理研究

人和猪对不同甜味物质的甜度感觉不同。Glaser等（2000）研究发现，碳水化合物类的甜味剂对人和猪的效果相同，而非碳水化合物对人有很高的甜度，对猪却没有反应。Kennedy等（1972）用蔗糖、葡萄糖和糖精钠配成水溶液喂猪，测定偏嗜效果。结果仔猪对0.005~0.01mol/L的蔗糖溶液有明显的偏好，与对照相比，饮水量超过90%；而糖精钠的结果显示，在0.005~0.01mol/L时，始终未能超过90%，并且在0.1~1mol/L时拒绝饮用。

1.2 猪的嗅觉生理研究

“双料槽模型”及“三饮水槽偏嗜试验”已被广泛用于测定猪对饲料的偏爱程度。Parfet等（1991）用3种不同气味的饮料（水、猪奶、羊水）建成三饮水槽偏嗜试验模型，测定新生仔猪对风味的偏好。结果仔猪饮猪奶的时间比对照（水）多60%，饮羊水的的时间比对照（水）多80%。McLaughlin等（1983）用经典的双料槽试验测定猪对不同风味的偏好程度（表2）。该项研究结果表明，一定要进行动物试验后才能确定该种香味剂是否有效，并非所有的奶香或果香都有同样的诱食效果。

表2 乳仔猪对8组 96 种不同风味香味剂的偏好

香型组	香型种类	中-高度偏好 (55%~69%)	无偏好 (44%~54%)	中-高度厌恶 (28%~43%)
黄油	8	4	4	
奶酪	6	2	3	1
脂肪	4	1	2	1
水果	24	8	12	4
青草	10	4	5	1
肉味	13	5	6	2
霉味	8	1	6	1
甜味	23	5	15	3
合计	96	30	53	13

McLaughlin et al 1983

2 采食量调控的应用试验

2.1 调味剂对仔猪采食量及生长性能的影响研究

仔猪料中同时添加香味剂和甜味剂能提高采食量、生长速度和饲料转化率。Torral lardona 等（2000）选用120头断奶的丹麦长白猪（平均体重5.1kg）分5组，分别为T-1（对照组）和T-2、T-3、T-4、T-5 4个试验组（分别在对照组基础上加相同浓度但不同风味的水果香型香味剂）。试验开始的前3周饲喂乳猪料，3~5周用仔猪料。结果显示4个试验组之间生产性能没有显著差异，而试验组与对照组间差异显著（表3），这说明添加香味剂有明显的诱食效果。在试验的第1阶段（0~21d），香味剂可以提高采食量（ $P=0.11$ ）和日增重（ $P=0.06$ ），对饲料转化率没有影响。提高日增重可能是香味剂改善了饲料适口性。在饲喂仔猪料阶段（21~35d）和试验全期（断奶后0~35d），香味剂不仅提高采食量（分别为 $P=0.14$ 和 $P=0.11$ ）和显著提高体增重（ $P=0.02$ 和 $P=0.01$ ），而且改善饲料报酬（分别为 $P=0.02$ 和 $P=0.12$ ）。香味剂在从乳猪料转换到仔猪料的过程中，能非常有效地阻止采食量的下降，能有效地阻止采食量的下降，使饲料具有很好的适口性和较高的消化率。另外，饲料利用率提高，表明仔猪的胃肠道粘膜发育得较好。这项研究与Pluske等（1996）的研究结果一致。

表3 香味剂对断奶仔猪生产性能的影响

	对照组	试验组	显著性检验	效益/%
乳猪料阶段(0~21 d)				

初始体重/kg	5.1	5.1	-	-
日增重/(g/d)	256	267	P=0.06	4.3
日采食量/(g/d)	385	396	P=0.11	2.9
饲料转化率	1.51	1.49	P=0.54	1.3
仔猪料阶段(21~35 d)				
初始体重/kg	10.5	10.7	P=0.06	2.1
日增重/(g/d)	385	422	P=0.02	9.2
日采食量/(g/d)	697	727	P=0.14	4.3
饲料转化率	1.81	1.71	P=0.02	5.5
试验全期				
初始体重/kg	15.9	16.6	P=0.01	4.8
日增重/(g/d)	307	330	P=0.01	7.0
日采食量/(g/d)	508	526	P=0.11	3.5
饲料转化率	1.65	1.60	P=0.12	3.0

注：本文中所用香味剂为乐达香（LUCTAROM）

2.2 应用调味剂掩盖饲料不良气味和换料产生风味差异的研究

2.2.1 断奶仔猪试验

仔猪断奶期间的应激使采食量明显下降，Van Heugten等（2002）在断奶仔猪饲料中添加香味剂[乐达香（LUCTAROM）]，目的是为了帮助仔猪由母乳过渡到固体饲料（试验第1阶段）和由第1阶段料过渡到消化率和适口性较差的第2阶段料。尽管未能发现乳猪对第1阶段的料比母乳更偏好，但他发现添加香味剂在阻止乳仔猪从母乳过渡到干饲料和由第1阶段料过渡到第2阶段料时采食量下降起到了很好的效果（图1）。

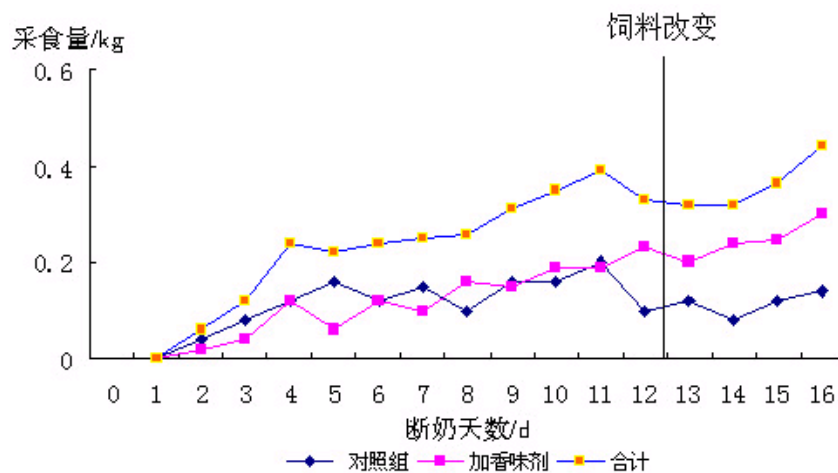


图1 添加牛奶-香草型香味剂提高断奶仔猪饲料过渡时的采食量

2.2.2 生长肥育猪试验

全球性蛋白质饲料紧缺导致价格上扬，尤其是豆粕和鱼粉。在猪饲料中使用菜籽粕或“双低菜籽粕”能降低成本。猪对苦味很敏感（Nelson and Sanregret, 1997），菜粕的苦味影响了适口性，从而限制了菜粕在猪饲料中的使用量。同时，更换饲料也会导致采食量下降。添加香味剂可以淡化饲料中的苦味，使猪对味道产生正面反应（Torres-Rallardona 等, 2000; Glaser 等, 2000）。

香味剂作为饲料的风味标识或适口性增强剂，可以帮助营养师们在肥育猪料中更好地选用适口性较差、成本较低的原料。

Duran等（2000）的研究发现，添加5%、10%和15%普通菜粕显著降低肥育猪的采食量，添加量达5%时，采食量即显著下降。突然转用含15%普通菜粕的饲料，采食量下降达21%。但同时添加香味剂，不会对采食量产生显著影响。在含有5%、10%和15%普通菜粕的配合饲料中，添加香味剂采食量分别提高9%、7%和8%（表4）。

表4 饲料中添加菜籽粕和香味剂对猪采食量的影响 g/头

4周		5周		6周	
处理	日采食量	处理	日采食量	处理	日采食量
SmF	1 236ab	SmF	1 153a	Cx3F	1 306
Cx1F	1 204ab	Cx2F	1 233a	Cx3F	1 348
Cx1	1 095a	Cx2	1 264a	Cx3	1 241
Sm	1 340b	Sm	1 664b	Cx3	1 320

Sm.: 无菜粕基础饲料; Cx1, 2, 3: 分别添加5%、10%、15%RSM;
F: 添加香味剂(100mg/kg); ab: 显著性标记 ($P<0.05$), 以下同。

该研究还发现, 肥育猪料中“双低菜粕”的添加量达到10%时不会对采食量产生有害的影响, 但添加量超过18%时, 显著降低肥育猪的采食量 ($P<0.05$)。但同时添加香味剂, “双低菜粕”用量可高达25%, 不会对采食量产生显著影响。研究时发现, 突然改变饲料时, 使用香味剂也有较好的效果 (表5)。

表5 突然更换饲料对日采食量的影响 g/头

4周		5周		6周	
处理	日采食量	处理	日采食量	处理	日采食量
SmF	1522	SmF	1876a	Cx3F	2034
Cx1F	1419	Cx2F	1790ab	Cx3F	1853
Cx1	1463	Cx2	1701b	Cx3	1888
Sm	1566	Sm	1954a	Cx3	2000

2.3 调味剂对仔猪断奶期间饮水量的影响

导致仔猪产生断奶应激的原因之一是仔猪获取水的方式, 断奶前水主要来自母乳, 而断奶后转变到从栏舍中的乳头式饮水器。研究发现, 可以通过加快饮水的转变过程减轻断奶引起的应激 (Bertram等, 2002)。为了增加断奶饮水量, 减轻断奶应激, Bertram等 (2002) 进行了在饮水中添加草莓型香味剂的试验研究。1 292头断奶仔猪按体重平分为4组。在饮水中分别添加0、1.929、2.051、3.270 g/L草莓风味的香味剂, 随机分配给各组。结果发现仔猪的饮水量随香味剂添加量的增加而增加, 与不加香味剂的对照组相比, 最高香味剂组24h的饮水量提高了34%, 前5d的采食量提高10%, 前14d饮水量共增加4%。前5d的采食量和体增重呈线性增加 ($P<0.05$)。在每个阶段的日增重、体重均呈线性上升 ($P<0.05$), 且差距逐渐增大。断奶后61d, 添加2.051、3.270 g/L香味剂的组饮水量比对照组增加了1.36kg (表6)。

表6 饮水中加入香味剂显著提高断奶仔猪体重 lb/头

断奶天数/d	对照组	加香味剂组	显著性检验
14	16.504	17.191	0.02
61	72.904	75.727	0.001

2.4 使用香味剂进行风味印记的研究

人类在出生几天就能识别甜味和苦味, 并能对甜味表示愉悦, 对苦味表示厌恶。许多证据表明, 幼年和成年动物在胎儿期或很早就对一些风味产生偏好 (Garlic abstract, Campbell)。在断奶期间, 仔猪需要一定的时间适应新的饲料, 而通过“风味印记”可以缩短仔猪的断奶适应期 (Campbell, 1976)。为了使母乳和断奶料具有相同的风味, 要先在哺乳母猪料中添加香味剂。(Campbell, 1976) 研究结果表明, 母乳和断奶料中均含有香味剂的仔猪比完全不含有香味剂的仔猪和仅在母乳中含有香味剂的组采食量和生长速度均显著提高 (表7)。

表7 断奶后3周仔猪的生长速度和采食量

	F1F2	F1-	-F2	--

日增重/kg	0.450a	0.359b	0.366b	0.363b
采食量/(kg/d)	0.818a	0.725b	0.751b	0.729b

注：F1和F2分别表示在母猪料和断奶仔猪料中添加香味剂

3 结论与展望

3.1 动物对新的饲料或原料有两种不同的反应：先天性偏好（动物天生会选择这种食物）或先天性厌恶（动物天生会拒绝采食）。研究表明动物面对新的饲料大多数情况下会趋向于先天性厌恶（Millman和Duncan, 2001）。动物选择食物可能根据饲料的营养成分，也可能根据饲料的适口性（Forbes, 1995）。而且，动物也能从不愉快的采食经验中学习。通过后天的采食经验而对某些食物或食物原料产生偏好，叫获得性偏好。遗憾的是，我们目前还不全面了解饲料的组成和原料的适口性之间的关系，对香味剂与饲料原料之间的互作机制尚不完全明确。有关这方面的研究尚在进行中。

3.2 动物的进化使味觉和嗅觉向更加精细方向发展。在一定程度上，影响畜产动物及宠物的采食量。对嗅觉和味觉进行研究来调控猪的采食量的方法已取得了一些进展。具体方法是通过在仔猪饲料中添加合适的香味剂以促进采食和饮水，掩盖换料产生的风味上的差异，尤其是使用适口性较差的原料时。另外，香味剂也能通过提供给断奶仔猪熟悉的气味和味道减少断奶应激。添加香味剂改善饲料适口性和采食量所带来的效益已为大家所认可。其作用机制和在分子生物学方面的研究还在进行。

3.3 根据动物嗅觉和味觉生理的最新研究成果，在生产上对调味剂产品的设计一定要以动物（猪）为本，这就需要供应商在推出新产品前进行大量的动物试验，尤其是偏好性试验与采食量调控试验。与其他添加剂研究一样，这些试验应该科学设计，运用统计分析原理正确解析试验结果。总而言之，调味剂产品应该着重于提高动物采食量与生产性能而不是以人为偏好为主。

（参考文献略，需者可函索：jin@lucta.com.cn或 djn@lucta.com.cn）