

编者按：这是一篇译稿，很值得我们借鉴。大熊猫是我国的特产，我国几乎各大城市的动物园均有饲养。但要把野生动物养好，需要进行基础研究。这篇文章说明了基础研究的重要性。为此，我们把这篇文章推荐给读者，以资参考。

熊 猫 对 竹 子 的 利 用

熊猫虽属食肉目，但几乎完全是食草性的，已报导熊猫拒食所有其他饲料以竹子为生。大多数食草动物都有消化道的变异，以帮助消化物的停滞和蕴藏微生物种群，以实现植物饲料物质的利用。这些特化作用的范围自前肠的分室作用，在食草动物的反刍类和非反刍类，如树懒、袋鼠、仓鼠、河马和某些灵长类动物中已有发现，到精致的囊状组织和后肠的延伸是马类，某些啮齿动物，兔子，蹄兔的特征。可是，熊猫拥有在解剖学上和食肉目其他种类，如狗、猫和浣熊很相似的，由一个简单的胃，没有盲肠，和一条短直而不复杂长10厘米的结肠组成的胃肠道。因而，熊猫广泛的微生物消化能力显然受了限制。

本项研究通过对熊猫进食，排泄，食物选择和消化效力的测定，考察了熊猫对竹子饲料的利用。并从形态学，解剖学和行为方面讨论了与这种奇特哺乳动物的取食特化作用有关的特点。

材 料 和 方 法

本研究与哥伦比亚特区华盛顿国立动物公园合作，用二只熊猫作研究，一只九岁，雄性，约重123千克，一只九岁半，雌性，约重114千克。

进行了以一星期为一期的三期消化试验，试验期内，每天记录进食和粪便排出总量。二只熊猫分舍饲养，一天喂两次，一次在上午九时，一次在下午三时。在动物园的食物及喂量列入表1至表3。本研究对动物园的食物不作更改，因不需要调整期。试验期间，熊猫饮水自

由。所有竹子都来自动物园附近同一地点，用喷水保持新鲜。

饲料和粪便的抽样，保存在摄氏零下20度冰箱内的塑料袋中。分析前，粪便样品已冷冻干燥，为测定饲料样品含水量，在摄氏60度鼓风机箱内烘干。全部抽样用Wiley磨磨碎后，经2毫米筛孔过筛，植物细胞膜组分，按Goering和Van Soest方法重复分析，用Robertson和Van Soest的修正。粗蛋白质含量用Macro-Kjeldahl程序测定，总能量用氧爆炸量热计测定。

以液态及粒态标记物测定消化物的通过。

表1 熊猫饮食组成(哥伦比亚特区华盛顿国立动物园)

成 分	雄	雌
粥(千克)	2.3	2.2
胡萝卜(克)	450	910
苹果(克)	340	680
猫食(克)	200	200
鲜竹(千克)	6.8—9.1	2.3—4.5

数值表示喂食依据。粥系大米煮成，加入100克粉状家制干酪(82%粗蛋白由伯林顿，美国营养实验室提供)，50克熊猫混合矿物质，20克补充维生素，二茶匙蜂蜜，一茶匙豆油和一立升水。猫食完全是罐头肉制品。

表2 熊猫矿质混合物成分

成 分	数量 克/千克	成 分	数量 克/千克
二价磷酸钙	650	硫酸锌	3.1
碳酸钙	50	葡萄糖酸亚铁铵 (17.5%铁)	20
氯化钠	115	硫酸铜	1.6
硫酸钾	115	碘化钾	0.04
氧化镁	15	亚硒酸钠	0.005
碳酸锰	0.5	蔗糖	30.4

在每次一周实验的第二天下午，用拌以3克聚乙二醇的一百颗完整麦粒喂食。标记物以约二茶匙蜂蜜拌和，涂在一薄片面包上，熊猫吃得快又净，确信吃下全剂量特定此时为起点时间。标记投食后，将熊猫关在室内围栏中，二十四小时，每一小时进行观察。排粪点和时间都在围栏示图上标明并作记录。第二天收集粪便，放在有标记的塑料袋内冻结，以作序列标记物分析。粪便过筛，用手拣出麦粒。聚乙二醇按 Malawer 和 Powell 修正程序分析。计算二种标记物回收率和排泄次数。

通过观察和采用上述方法对熊猫利用了的与排出的竹子的分析，测试了食物选择力。

表3 维生素含量增加的混合食物成分

成分	数量(克)
浓缩维生素 A (20 万国际单位/克)	4.5
浓缩维生素 D (40 万国际单位/克)	0.25
α-维生素 E	5.0
维生素 C	45.0
肌醇	5.0
氯化胆碱	75.0
维生素 K ₃	2.25
对氨基苯甲酸	5.0
烟酸	4.5
维生素 B ₂	1.0
维生素 B ₆	1.0
维生素 B ₁	1.0
泛酸钙	3.0
维生素 H	20 毫克
维生素 B _c	90 毫克
维生素 B-12	1.35 毫克

注：每 220 千克饮食配 1 千克。

结 果

进食

在整个研究阶段，每只熊猫日进食固定不变。食物配方营养成分见表 4。二只熊猫将每日供应的苹果和胡萝卜吃光。雄熊猫一贯吃尽粥和猫食，但雌熊猫很少吃完配给的粥，并完全拒食罐头猫食。每天进食的干物质，主要是竹子，在雄熊猫食物中占 75%，在雌熊猫食物中占 54%。雄熊猫日消耗竹子干物质，相当于体

重的 4.2% (5.2 千克)，雌熊猫为 1.6% (1.8 千克)。加上其他配制食物，雄熊猫日食干物质为体重的 5.6% (6.9 千克)，雌熊猫为 3.0% (3.4 千克)。

选择力

二只熊猫都有选择力，一贯吃光特定的植物部分，根据熊猫的摄食习性，将竹子分为几部分作营养分析。这些部分包括竹叶，直径为小

表4 熊猫食物的营养组成
(哥伦比亚特区华盛顿国立动物园)

成分	干物质 %	细胞壁	半纤维	纤维素 % 干物质	木质素	粗蛋白	总能量 千卡/克
苹果	11.7	7.6	2.9	4.7	0.1	1.3	3.4
胡萝卜	10.4	9.2	1.2	6.6	1.4	6.8	3.1
粥	34.3	2.9	2.4	0.3	0.2	15.8	4.1
猫食	41.9	20.4	14.8	3.5	1.7	41.2	6.5
竹子							
雄	57.0	74.6	29.7	26.5	7.3	8.6	4.8
雌	57.0	72.7	30.3	24.4	7.4	10.0	4.8

于 5 毫米，5—15 毫米，15—25 毫米和大于 25 毫米的竹秆。这些不同部位的营养成分列入表 5。于是由竹子里取得的实际消耗的营养，可将在食物中各种植物部分所占比例与相应的各种植物部分被排出者所占比例相乘即得。在实际计算时比较复杂，因为雌雄熊猫食用较大竹茎部分各有不同。雄熊猫对直径大于 15 毫米的所有竹茎都要剥皮，而雌熊猫只对直径大于 25 毫米的竹茎才剥皮，剥下的皮(表 5 中的表皮部分)都不吃，只吃剥出来的竹芯。尽量吃竹叶，丢掉直径小于 5 毫米的竹茎。

表5 黄纹毛竹 (*Phyllostachys aureosulcata*) 的成分

样品	干物质 %	灰分	细胞壁	半纤维	纤维素 % 干物质	木质素	粗蛋白	总能量 (千卡/克)
竹叶	52.0	7.8	65.6	35.7	21.5	6.2	13.4	4.8
竹秆								
小于 5 毫米	61.7	2.3	79.6	25.2	34.3	9.9	3.8	4.6
5—15 毫米	57.1	1.2	88.4	22.8	41.1	7.1	2.2	4.6
15—25 毫米	67.2	1.2	81.7	23.4	37.4	7.4	3.5	4.7
大于 25 毫米	59.4	1.1	84.5	23.0	40.0	5.9	2.3	—
竹芯	65.6	0.9	82.7	22.5	37.9	7.2	1.9	4.6
表皮	78.2	0.7	84.6	18.1	41.9	6.2	2.0	—

竹叶富含蛋白质和植物其他部位相比为 13% 比 3%，而细胞壁组分较其他植物部分低为 66% 对 83%，各竹茎部分成分略有差别。虽然熊猫将最大的竹茎分成髓部和表皮两部分，但在本研究中，这两部分的营养质的基数却未分别表明。二头熊猫的选食能力的证据见表 6，在表 6 中和供应的竹子平均量相比，细胞壁和纤维素的总消耗量较小，蛋白质和能量的消

表 6 二只熊猫食用和拒食的竹子的成分
(哥伦比亚特区华盛顿国立动物园)

竹子	细胞壁	半纤维素	纤维素 % 干物质	木质素	粗蛋白	总能量 千卡/克
食用	75.2	27.3	30.6	7.0	7.0	4.73
拒食						
雄	85.7	21.4	40.3	6.5	3.1	4.62
雌	81.9	24.4	35.4	6.7	4.6	4.68

耗量较大。

消化物排出 液态和颗粒状标记物都以相似速度，通过熊猫消化道在 8 小时 (± 3 小时) 内完全排出。

可消化性 因为动物园给两只熊猫的食物不同，本研究不能变更，要单独计算竹子的可消化性，就根据发表的单胃消化系数来估算干物质的可消化性，苹果为 82%，猫食和胡萝卜为 75%，米粥为 100%。竹子对消化平衡的作用是扣除其他食物成分后计算出来的。除竹子以外的其他食物配料中蛋白质和能量可消化性推测

表 7 哥伦比亚特区华盛顿国立动物园二只熊猫每天总消耗的营养和排泄 (营养来源: 竹子和其他食物配料)

消耗的食物	干物质 (克)	细胞壁 (克)	半纤维素 (克)	纤维素 (克)	木质素 (克)	粗蛋白 (克)	总能量 (千卡)
雄							
竹子	5.15	3842.8	1531.2	1364.9	374.9	444.0	24572.9
其他	1.71	88.0	61.2	20.2	3.6	188.7	7293.0
	6.86	3930.8	1592.4	1385.1	378.5	632.7	31865.9
雌							
竹子	1.80	1309.2	545.0	439.2	133.6	180.5	8549.9
其他	1.55	63.4	47.8	22.7	4.6	114.4	6107.4
	3.35	1372.6	592.8	461.9	138.2	294.9	14702.3
粪便							
雄	4.23	3179.7	1142.6	1334.7	384.6	446.0	19932.1
雌	1.51	1027.7	422.0	398.6	114.1	106.2	7047.6

约为 90%，因为食物中竹子供应的植物组织的碳水化合物总量超过 95%，其他食物组成所提供的纤维作用对这些计算则不予重视。每只熊猫实际消耗的营养和排泄资料见表 7。甚至数字计算显著表明，两只熊猫的消化系数相似，对竹子干物质的可消化性平均为 $19.6\% \pm 0.12\%$ 。可消化的蛋白质为 $90.0\% \pm 0.53\%$ ，总能量为 $23.4\% \pm 0.78\%$ ，半纤维素为 $27.0\% \pm 0.07\%$ ，纤维素和木质素消化系数可能是不同的，分别平均为 $8.0\% \pm 2.9\%$ 和 $7.7\% \pm 5.4\%$ 。

讨 论

从不同细胞壁组分的可消化性来看，在熊猫的消化方法中微生物消化所起的作用显然很小。只有半纤维素结构上的碳水化合物能被大量消化。虽然半纤维素主要被微生物分解，但某种证据表明，某些键可能因用酸预处理而被破坏。半纤维素经过胃部必然受影响，从而变成糖分，以利于下肠道消化和吸收。消化物以极快的速度通过熊猫的胃肠道，因为熊猫不象别的动物，它的胃肠道结构直而简单更限制了竹子的微生物分解潜力。因为熊猫在野外几乎完全以竹子为生，为了满足营养需要必须具备与众不同的、有效的消化纤维的办法。

和食肉目中的熊以及其他动物相比，熊猫显出了与食草性有关的特殊的骨骼变异。它们的头盖骨由紧密结实的骨头组成，并出现了与颌部肌肉系统增大相伴的互生现象。齿列是典型的食草动物特征：臼齿大，扁平具复杂的齿冠。有力的咀嚼和有效的压碎面相结合，像竹子这样粗糙的物质也被有效的嚼碎。经过咀嚼弄碎的竹子尤其是细胞成分，结果提高了植物营养有效性。熊猫仔细咀嚼含细胞成分最高的竹叶，而较木质化的竹茎部分则否。

熊猫的前爪显示了可能是最不寻常的特化作用。腕骨延长呈辐射状籽骨。通常在其它种属，肌肉连接第一指或“拇指”，而熊猫的肌肉则连接在辐射状籽骨上，使籽骨非常灵活，给熊猫以钳状抓握力。这种前爪特化作用，使熊猫成为明显摄食行为型高度选食的动物。在此项研

究中，熊猫首先用前爪抓起竹秆，把它们斜着塞进嘴里，拉动竹秆，扭动头部，剥掉竹叶。吃光竹叶后，熊猫就用臼齿咬碎直径较大的竹秆，用牙齿把皮去掉，露出竹芯，然后把竹芯吃掉。较小的竹秆，熊猫如果要吃的话，一般是不去皮的。

熊猫首先选食营养价值较大的竹叶。因为竹叶含有的细胞成分最高，这一部分最容易被哺乳动物酶有效地消化。然后吃掉竹子的髓部。这一部分是由植物生长期运输代谢物的维管组织组成的。竹子标本采集于二月份，营养价值低，并不代表髓部在一年其他时间可能有的高营养值。季节的变化，细胞的内含物增加(主要是可溶性碳水化合物)与细胞壁组分相反，这就解释了熊猫第二爱好是竹秆的髓部，而胜于

其他竹秆部分了。

虽然熊猫对植物是低效消化者，但就其行为和形态来说，仍然是高度特化的食草动物。在熊猫的自然环境里，有丰富的食物供应，于是这种动物显然为了增加食物摄取，以进化上的许多变化来利用竹子。摄食量大(干物质达体重6%)与快速排出(8小时±3小时)相结合，促成熊猫即使没有消化植物结构上的碳水化合物，亦可满足自身的营养需要。熊猫不能有效地消化细胞壁组分，就转而依赖细胞内含物的利用。而熊猫的不复杂的消化道，限制了微生物的消化作用，只得采取结果良好的办法，促使大量植物物质，特别是竹子的排出畅通无阻。

(章祖堡译自 «The journal of Nutrition»
Vol. 112 No.4 张荫碧校)