

# 山楂膳食纤维改善功能性便秘及预防铅中毒作用

陈洪雨, 马 蕾, 杨建乔, 赵 文\*, 崔 同

(河北农业大学食品科技学院, 河北省农产品加工工程技术中心, 河北 保定 071001)

**摘 要:** 目的: 研究山楂膳食纤维的改善功能性便秘及预防铅中毒功效。方法: 1)将小鼠分为溶剂对照组、模型对照组和山楂膳食纤维低、中、高剂量组, 灌胃10d后建立功能性便秘模型, 观察山楂膳食纤维对小鼠小肠推进率、排便时间和排便质量的影响; 2)通过制造预防性高铅动物模型, 观察不同剂量的山楂膳食纤维及Na<sub>2</sub>CaEDTA阳性对照组对小鼠血液、肝脏及股骨中铅含量的影响。结果: 山楂膳食纤维可提高小鼠的小肠推进率、缩短首粒排便时间和增加排便质量, 且中、高剂量组具显著性差异( $P<0.05$ ); 此外, 低、中、高剂量组小鼠的肝脏铅、全血铅、股骨铅含量均较模型组有所下降, 其中中、高剂量组呈显著性差异( $P<0.05$ )。结论: 山楂膳食纤维在500mg/(kg·d)的剂量条件下对小鼠具有显著的润肠通便和驱铅功效, 可有效改善功能性便秘, 预防铅中毒。

**关键词:** 山楂膳食纤维; 保健功能; 便秘; 排铅

## Maythorn Dietary Fiber Ameliorates Functional Constipation and Prevents Lead Poisoning

CHEN Hong-yu, MA Lei, YANG Jian-qiao, ZHAO Wen\*, CUI Tong

(Engineering Technology Research Center for Agricultural Product Processing of Hebei, College of Food Science and Technology, Agricultural University of Hebei, Baoding 071001, China)

**Abstract:** Objective: To explore the ameliorative effect of maythorn dietary fiber (MDF) on functional constipation and its preventive effect on lead poisoning. Methods: Mice were divided into 5 groups as follows: blank control, model control, and MDF low dose, middle dose and high dose groups. Functional constipation model was established after oral administration for 10 d. The intestinal motion rate, defecation time and feces weight of all the mice were investigated. A prophylactic lead-poisoning model was developed and employed to observe the effects of different doses of MDF and positive control on Pb content in the liver, blood and femur of mice. Results: The motional rate of ink in the intestine was enhanced by MDF administration, initial defecation time was abridged, and total feces weight increased when compared to the model control group. Moreover, in the MDF groups, Pb content in liver, blood, and femur declined when compared to the model control group, and the middle-dose and high-dose groups displayed a statistical significance. Conclusion: The administration of 500 mg/(kg·d) of maythorn dietary fiber has effective defecation-promoting and lead-removing capacity in mice, which is beneficial for relieving functional constipation and preventing lead poisoning.

**Key words:** maythorn dietary fiber; health-promoting function; constipation; lead removal

中图分类号: R151

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630(2013)15-0232-04

doi:10.7506/spkx1002-6630-201315048

山楂是一种重要的药食两用资源, 在我国主要分布于辽宁、山东、河南、河北、山西、吉林等地<sup>[1]</sup>。山楂果不仅含有丰富的维生素和矿物质, 还含有大量果胶、纤维素、半纤维素、木质素等膳食纤维类非营养成分, 在鲜果中含量达0.79%, 其中可溶性纤维占75%<sup>[2]</sup>, 但迄今山楂膳食纤维的保健功能鲜有报道。

研究发现, 膳食纤维的化学结构(尤其是果胶的糖醛酸

结构)中包含某些羧基类侧链基团, 可以起到阳离子交换作用, 缓解重金属中毒<sup>[3-4]</sup>。而铅是一种被高度关注的神经和细胞毒物, 它随汽车尾气和工业污染源从环境进入食物链, 严重危害人类健康, 尤其是儿童<sup>[5-8]</sup>。传统西医疗法常用依地酸钙(CaEDTA)等络合剂驱铅, 但该类药物易引起过敏、肾毒性等副作用<sup>[9]</sup>; 因此, 开发安全健康的天然排铅成分, 如膳食纤维、多糖等, 标志着排铅产品的最新研究方向。

收稿日期: 2012-10-26

基金项目: 国家自然科学基金项目(31071494); 河北省自然科学基金项目(C2011204093)

作者简介: 陈洪雨(1989—), 女, 硕士研究生, 研究方向为营养与食品安全。E-mail: tteadd@126.com

\*通信作者: 赵文(1964—), 女, 教授, 硕士, 研究方向为营养与食品安全。E-mail: zwgyf@yahoo.com.cn

另一方面,膳食纤维具备高持水性,可以辅助增加粪便质量和软化粪便,其润肠通便功效已被广泛证实。便秘不仅是一种独立或并发病症,还是许多其他疾病的诱因,既可影响患者食欲及营养吸收,又能诱发或加重结肠癌和心脑血管疾病<sup>[10]</sup>,国内外流行病学调查均确认了其在人群(尤其是女性和老年人)中的高发性<sup>[11-13]</sup>;因而研制相应缓解便秘的保健食品具很强的实际意义。

本研究以山楂膳食纤维为对象,观察其对动物铅中毒和便秘的预防作用,为进一步开发相关保健食品提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料、动物、试剂与仪器

山楂鲜果购于保定市南市区水果批发市场,产地为河北省兴隆县。

SPF级ICR小鼠,雄性,18~22g,购自北京华阜康生物科技股份有限公司,许可证号:SCXK(京)2009-0004。

铅标准液 德国Merck公司;复方地芬诺酯 河南省新乡市常乐制药厂;乙醇、乙二胺四乙酸二钠钙盐、醋酸铅、硝酸、高氯酸、阿拉伯树胶等为国产分析纯;活性炭粉 市售。

墨汁的配制:称取阿拉伯胶10g,加入蒸馏水80mL,煮沸至溶液透明后,加入活性炭粉5g并煮沸3次,冷却后用蒸馏水定容至100mL,保存于4℃冰箱中待用。

分散乳化均质机 上海BRT机电设备科技有限公司;多功能粉碎机 永康市帅通工具有限公司;真空冷冻干燥机 北京博医康实验仪器有限公司;电子分析天平 德国Sartorius仪器公司;TAS-900型原子吸收分光光度计 北京普析通用仪器有限责任公司。

### 1.2 样品制备

山楂膳食纤维制法在专利<sup>[14]</sup>基础上改进,具体步骤为:将山楂果洗净,用分散乳化均质机充分搅打,通过孔径为1mm的筛板分离除去山楂籽,得到山楂果浆,加入3倍体积70%乙醇并快速搅拌使膳食纤维沉淀,冷却静置后过滤除去上清液,滤渣再用3倍体积95%乙醇浸提2遍,真空冷冻干燥后用粉碎机粉碎,过100目分样筛。样品中可溶性纤维占50%,不溶性纤维占16%。临用前用70℃蒸馏水溶解,搅拌均匀,冷却待用。

### 1.3 山楂膳食纤维对功能性便秘的改善作用

#### 1.3.1 动物分组

将小鼠随机分为溶剂对照组、模型对照组和3个山楂膳食纤维剂量组,每组10只动物。溶剂对照组和模型对照组以蒸馏水为对照物,山楂膳食纤维低、中、高剂量组则每日分别给予250、500、1000mg/(kg·d)的受试山楂

纤维。溶剂对照组始终不建立便秘模型,模型对照组和各个山楂膳食纤维剂量组则在指标检测时采用复方地芬诺酯建立功能性便秘模型。

#### 1.3.2 小肠推进实验

山楂膳食纤维组每天定时灌胃给予上述剂量的山楂膳食纤维,溶剂对照组和模型对照组给予蒸馏水。至第10天,各组小鼠禁食不禁水16h,模型对照组和各剂量组以0.025%复方地芬诺酯混悬液灌胃制造便秘模型,溶剂对照组以蒸馏水代替;30min后各个对照组灌胃给予墨汁,各个剂量组给予含相应样品的墨汁。25min后断髓法处死小鼠并摘取肠管,测量总长度和墨汁推进长度,按下式计算墨汁推进率。

$$\text{墨汁推进率}/\% = \frac{\text{墨汁推进长度}/\text{cm}}{\text{小肠总长度}/\text{cm}} \times 100$$

#### 1.3.3 排便时间、排便频率和排便量测定

造模液为0.05%复方地芬诺酯,其余处理同1.3.2节。给予墨汁后立即开始计时,单笼饲养每只动物,喂食饮水照常,观察并记录每只动物首次排黑便时间、每30min排便粒数及质量增长量、6h排便总粒数及总质量,最后以恒质量法测粪便干质量及含水率。

### 1.4 山楂膳食纤维对铅中毒的预防作用

#### 1.4.1 动物分组

将小鼠随机分为溶剂对照组、模型对照组、阳性对照组和3个山楂膳食纤维剂量组,每组8只动物。溶剂对照组和模型对照组以蒸馏水为对照物,阳性对照组以每日13mg/(kg·d) Na<sub>2</sub>CaEDTA为阳性对照物,山楂膳食纤维低、中、高剂量组则分别给予250、500、1000mg/(kg·d)的受试山楂纤维。除溶剂对照组始终不建立高铅模型外,其余各组用醋酸铅制造铅中毒模型。

#### 1.4.2 造模

溶剂对照组自由饮用蒸馏水,其余5组饮用1g/L醋酸铅水溶液以制造铅中毒模型,每3d换液1次。同时依据1.4.1节剂量,各山楂膳食纤维剂量组灌胃给予受试山楂纤维,阳性对照组给予阳性对照物Na<sub>2</sub>CaEDTA,溶剂对照组和模型对照组给予蒸馏水,实验连续进行40d。

#### 1.4.3 机体铅含量的测定

末次灌胃24h后,称量小鼠体质量,采集每只小鼠全血0.5g、肝脏0.7g、股骨0.1g,湿法消解(浓硝酸与高氯酸体积比为3:1)。石墨炉原子吸收分光光度法(AAS)测定血铅、肝铅、股骨铅含量,AAS条件由预实验确定。光源为铅灯,波长283.3nm;石墨炉升温程序:干燥期5s升温至90℃保持10s,再5s升至120℃保持10s;灰化期5s升温至500℃保持5s;原子化期1700℃保持2s;净化期1800℃保持2s。

### 1.5 数据处理

采用SPSS 17.0统计软件进行数据分析,组间比较用单因素方差分析(One-Way ANOVA),进一步两两比较采用最小显著性差异法(LSD)。

2 结果与分析

2.1 山楂膳食纤维对功能性便秘模型的改善作用

2.1.1 山楂膳食纤维对小鼠体质量和小肠推进率的影响

表1 山楂膳食纤维对小鼠体质量和小肠推进率的影响( $\bar{x} \pm s$ ,  $n=10$ )  
Table 1 Effect of maythorn dietary fiber on mouse body weight and intestinal motion rate ( $\bar{x} \pm s$ ,  $n=10$ )

组别	体质量增长量/g	小肠推进率/%
溶剂对照组	6.00±1.86	47.62±9.09**
模型对照组	6.20±0.93	21.44±3.50
山楂纤维膳食低剂量组	6.00±1.53	25.32±5.37
山楂膳食纤维中剂量组	6.01±1.52	28.46±6.35*
山楂膳食纤维高剂量组	4.99±1.40	29.90±8.53*

注：\*、与模型组相比较，有显著性差异 ( $P < 0.05$ )；\*\*、与模型组相比较，有极显著性差异 ( $P < 0.01$ )。下同。

由表1可知，各组小鼠10d体质量增长无统计学差异，且受试物未造成呕吐、腹泻等异常反应。低、中、高剂量组小鼠的小肠推进率对比模型组均有所提高，增加量分别占模型的18.09%、32.74%和39.46%，且中、高剂量组与模型组有显著性差异，说明高剂量的山楂膳食纤维促小肠推进作用效果最好。

2.1.2 山楂膳食纤维对小鼠排便时间和排便量的影响

表2 山楂膳食纤维对小鼠排便时间和排便质量的影响( $\bar{x} \pm s$ ,  $n=10$ )  
Table 2 Effect of maythorn dietary fiber on initial defecation time and feces weight in mice ( $\bar{x} \pm s$ ,  $n=10$ )

组别	首粒排便时间/min	6h排便总质量/g	6h排便干质量/g	排便粒数	含水率/%
溶剂对照组	112.6±26.6**	0.629±0.107**	0.308±0.056**	29.60±8.10**	50.2±7.7
模型对照组	286.0±21.1	0.172±0.066	0.093±0.026	6.83±4.10	46.6±7.0
山楂纤维膳食低剂量组	249.0±28.2*	0.231±0.089	0.139±0.058	9.43±4.00	45.3±5.2
山楂膳食纤维中剂量组	222.7±44.1**	0.298±0.096*	0.153±0.034*	11.30±4.40	49.7±7.2
山楂膳食纤维高剂量组	236.7±43.4**	0.297±0.114*	0.171±0.057**	14.00±7.30*	48.2±6.5

由表2可知，在本研究条件下，溶剂对照组与模型组相比较，首粒排便时间、6h排便总质量、6h排便干质量和6h排便粒数均呈极显著性差异，故复方地芬诺酯所制造的功能性便秘模型成立。与模型组相比较，低、中、高剂量组小鼠的首粒排便时间均有显著性下降，分别缩短了模型的12.94%、22.13%和17.23%，且中剂量组小鼠的平均首粒排便时间最短；低、中、高剂量组小鼠的6h排便总质量重和干质量均较模型有所增加，其总质量增加量分别占模型的34.30%、73.25%和72.67%，干质量增加量分别占模型的49.46%、64.52%和83.87%，且中、高剂量组的效果具统计学意义；就排便粒数而言，各剂量组均比模型组有所增加，但仅高剂量组与模型组有统计学差异，而粪便含水率在本研究条件下未测出显著性差异。

2.1.3 山楂膳食纤维对小鼠排便频率和粪便增长趋势的影响

由图1、2可见，尽管小鼠的排便情况存在个体差异性，但从整体来看，各组小鼠在6h内的排便粒数和质量

量基本增长平稳，未见频率或增长趋势异常。受试物组与模型组相比均首粒排便时间节点提前，便量更大、增长趋势更快，亦说明山楂膳食纤维能促进排便，起到缓解功能性便秘的作用。

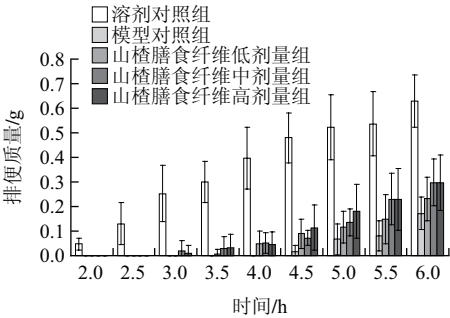


图1 小鼠排便质量增长情况

Fig.1 Feces weight-time relationship for mice

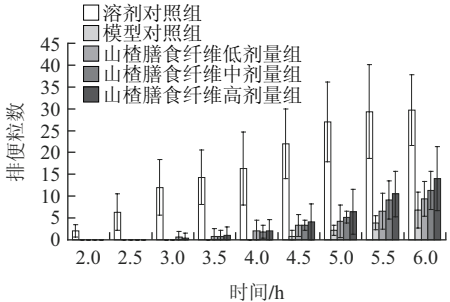


图2 小鼠排便粒数增长情况

Fig.2 Feces granule quantity-time relationship for mice

2.2 山楂膳食纤维对铅中毒的预防作用

2.2.1 山楂膳食纤维对铅中毒模型小鼠体质量和肝系数的影响

表3 山楂膳食纤维对铅中毒模型小鼠体质量和肝系数的影响( $\bar{x} \pm s$ ,  $n=8$ )  
Table 3 Effect of maythorn dietary fiber on liver coefficient and body weight in lead-poisoning mice ( $\bar{x} \pm s$ ,  $n=8$ )

组别	体质量增长量/g	肝系数/(mg/g)
溶剂对照组	19.48±3.86	41.33±5.81
模型对照组	21.13±1.83	41.34±5.43
Na <sub>2</sub> CaEDTA阳性对照组	19.37±2.95	40.08±5.03
山楂膳食纤维低剂量组	19.57±4.33	44.02±5.80
山楂膳食纤维中剂量组	20.80±3.68	41.03±3.33
山楂膳食纤维高剂量组	19.87±2.72	43.96±4.37

由表3可知，给药40d后小鼠体质量增加量及肝系数无显著性差异，说明山楂膳食纤维在本实验条件下对上述指标影响不大。

2.2.2 山楂膳食纤维对小鼠血液、肝脏和股骨中铅含量的影响

由表4可知，溶剂对照组与模型对照组相比较，各组织的铅含量均呈显著性差异，故醋酸铅水溶液制铅中



毒模型造模成立。低、中、高剂量组均较模型对照有所下降,其中肝脏铅依次下降了模型的12.6%、28.1%和33.7%,全血铅下降了14.4%、36.2%和42.9%,股骨铅下降了7.2%、10.1%和18.9%,且中、高剂量组小鼠上述组织的铅含量与模型相比较具显著性差异,高剂量组效果略好于阳性对照。

表4 铅中毒小鼠全血铅、肝脏铅和股骨铅的含量( $\bar{x} \pm s$ ,  $n=8$ )  
Table 4 Pb content in the blood, liver and femur of lead-poisoning mice ( $\bar{x} \pm s$ ,  $n=8$ )

组别	全血	肝脏	股骨
溶剂对照组	0.71±0.36**	0.60±0.32**	4.47±3.58**
模型对照组	3.61±0.88	2.85±0.57	134.55±9.13
Na <sub>2</sub> CaEDTA阳性对照组	2.30±0.69**	1.93±0.26**	110.21±9.83**
山楂膳食纤维低剂量组	3.09±0.65	2.49±0.42	124.89±12.10
山楂膳食纤维中剂量组	2.30±0.68**	2.05±0.14**	121.06±13.28*
山楂膳食纤维高剂量组	2.06±0.62**	1.89±0.32**	109.16±8.53**

### 3 讨论

本研究所用山楂膳食纤维为充分提取山楂乙醇提取物后的残渣,含50%果胶、16%纤维素、半纤维素和木质素等、7%的蛋白、少量残留的多酚类,这些成分及其基团可影响样品的持水性和阳离子交换能力,产生通便和驱铅功效,为山楂果渣资源的综合开发利用提供思路。

研究表明,500mg/(kg·d)剂量的山楂膳食纤维促进小鼠排便实验结果可判为阳性,该结果在剂量上优于国内同类报道中的沙果渣、百合、番茄和益生菌发酵竹笋膳食纤维(小鼠实验最低剂量均超过1g/(kg·d))<sup>[15-18]</sup>,且具备进一步分离纯化和深加工、以开发功效性更强的产品(如多糖提取物等)的研发价值。山楂膳食纤维能显著促进功能性便秘模型动物的小肠推进率、缩短首粒排便时间、加大排便量,证实它能有效促进小肠代谢、刺激小肠蠕动和推动肠道废弃物排泄,其机理可能与膳食纤维类物质增加粪便的体积和质量有关。本实验未能测出样品对粪便含水率的影响,推测为方法限制(为检测受试物对小鼠主要排便指标的影响,对照组和剂量组分别给予空白墨汁和含相应样品的墨汁,二者起始含水率不同),还需后续研究。但山楂膳食纤维中果胶含量丰富,增加了它的持水性和溶胀性,有助于其增加粪便质量和体积并刺激副交感神经对排便的调控,国外学者认为纤维适用于便秘早期治疗<sup>[19]</sup>;此外,膳食纤维可清洁消化壁、稀释和加速食物中有害物质的移除,减少痔疮的发生,保护消化道和预防结肠癌<sup>[20-21]</sup>。

血液是铅进入机体的门户,骨骼是机体铅的贮存库,肝脏是主要的代谢器官,且肝脏还是经口铅中毒主要受损器官之一,可引起肝肿大,呈现黄疸,甚至肝硬变或肝坏

死,骨铅还可动员到血液,再分布到其他组织、脏器,从而产生二次毒作用<sup>[22-24]</sup>。因此,本研究选择全血铅、肝铅和骨铅作为观察指标。研究表明,500mg/(kg·d)的山楂膳食纤维可以有效降低小鼠肝脏、血液和骨中铅的含量,而血铅对山楂膳食纤维的影响最敏感,说明山楂膳食纤维具有很强的阳离子交换作用,减少了机体对肠道铅的吸收,进而减少了铅在组织中的分布,这为关于膳食纤维排铅解毒功能提供了一个新的实验证明。至于膳食纤维能否经其他途径减少体内铅的蓄留有待进一步探讨。

### 参考文献:

- [1] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典:一部[M]. 2000版. 北京:化学工业出版社, 2000: 23.
- [2] 吕明霞,李媛,张飞,等. 气相色谱法分析北方水果中膳食纤维的单糖组成[J]. 中国食品学报, 2012, 12(2): 213-218.
- [3] 梁咏红. 膳食纤维与人体健康关系的研究进展[J]. 中华临床医药, 2004, 5(5): 43-44.
- [4] KNUTSEN S H, HOLTEKJØLEN A K. Preparation and analysis of dietary fiber constituents in whole grain from hulled and hull-less barley[J]. Food Chemistry, 2007, 102(3): 707-715.
- [5] GOULD E. Childhood lead poisoning: conservative estimates of the social and economic benefits of lead hazard control[J]. Environmental Health Perspectives, 2009, 117(7): 1162-1167.
- [6] MONTEIRO H P, ABDALLA D S, ARCURI A S, et al. Oxygen toxicity related to exposure to lead[J]. Clin Chem, 1985, 31(10): 1673-1676.
- [7] 冯福建,王兰,虞江平,等. 我国铅中毒群体特征[J]. 四川环境, 2002, 21(1): 7-11.
- [8] BURTON A. Massive childhood lead poisoning: the price of nigerian gold[J]. Environ Health Perspect, 2012, 120(4): A165.
- [9] 薛汉麟. 铅中毒治疗的探讨[J]. 职业医学, 1990, 17(5): 298.
- [10] 段建华. 便秘的发病机制的研究现状[J]. 国外医学:消化系疾病分册, 2005, 25(5): 310-313.
- [11] 王伟岸. 美国便秘患者的地域分布[J]. 世界医学杂志, 1999, 3(3): 5-8.
- [12] 于普林,李增金,郑宏. 老年便秘流行病学特点的初步分析[J]. 中华老年医学杂志, 2001, 20(2): 132-134.
- [13] MAMHIDIR A G, LJUNGGREN G, KIHLENGREN M, et al. Underweight, weight loss and related risk factors among older adults in sheltered housing: a Swedish follow-up study[J]. J Nutr Health Aging, 2006, 10(4): 255-262.
- [14] 崔同,茅原弘,刘文民. 山楂果实中活性成分的分离提取方法:中国, ZL 01103986.8[P]. 2001-02-19.
- [15] 牛广财,朱丹,肖盾,等. 沙果渣膳食纤维润肠通便作用的动物实验研究[J]. 食品科学, 2011, 32(13): 293-296.
- [16] 胡艳丽,陈文,杨光. 番茄膳食纤维润肠通便作用的研究[J]. 现代预防医学, 2007, 34(5): 804-805.
- [17] 钟海雁,李忠海,常银子,等. 百合膳食纤维对小白鼠润肠通便功能的影响[J]. 中南林业学院报, 2004, 24(5): 76-79.
- [18] 李安平,谢碧霞. 发酵竹笋膳食纤维改善小鼠胃肠道功能的实验研究[J]. 食品营养, 2005, 26(7): 171-173.
- [19] PORTALATIN M, WINSTEAD N. Medical management of constipation[J]. Clinics in Colon and Rectal Surgery, 2012, 25(1): 12-19.
- [20] MARLETT J A, MCBURNEY M I, SLAVIN J L. Position of the american dietetic association: health implications of dietary fiber[J]. Journal of the American Dietetic Association, 2002, 102: 993-1000.
- [21] SCHWESINGER W H, KURTIN W E, PAGE C P, et al. Soluble dietary fiber protects against cholesterol gallstone formation[J]. American Journal of Surgery, 1999, 177(4): 307-310.
- [22] DESILVA P E. Determination of lead in plasma and studies on its relationship to lead in erythrocytes[J]. Br J Ind Med, 1981, 38(3): 209-217.
- [23] TODD A C, WETMUR J G, MOLINE J M, et al. Unraveling the chronic toxicity of lead: an essential priority for environmental health[J]. Environ Health Perspect, 1996, 104(Suppl 1): 141-146.
- [24] JUSKO T A, HENDERSON C R, LANPHEAR B P, et al. Blood lead concentrations <10 µg/dL and child intelligence at 6 years of age[J]. Environ Health Perspect, 2008, 116(2): 60-61.