

文章编号: 1000-8020(2017)05-0818-06

·文献数据分析·

应用分位数回归分析中国成年居民蛋白质摄入量与体质指数及腰围的关系

姚欲清 邢星 吕冰¹ 闵捷²

东南大学公共卫生学院流行病与卫生统计学系, 南京 210009



摘要: 目的 研究膳食蛋白质摄入量与不同条件分布下体质指数(BMI)及腰围之间的关系。方法 收集“中国健康与营养调查(CHNS)”项目2011年十二省成年居民的膳食调查与体格测量数据。按性别分层后,采用分位数回归分析居民膳食蛋白质摄入量与BMI及腰围的关系。结果 研究对象为18岁及以上成年人11800名,其中成年男性5623(47.7%)名,平均年龄为(51.5±15.1)岁,成年女性6177(52.3%)名,平均年龄为(51.9±15.0)岁,男、女性的膳食蛋白质摄入量分别为(1.1±0.4)和(1.0±0.4)g/kg BW。男、女性在腰围、能量、蛋白质摄入量、碳水化合物摄入量、活动水平、教育程度、吸烟、饮酒及工作状态上差异均有统计学意义($P < 0.05$),而在年龄、BMI、脂肪摄入量及城市农村比例上男、女性别差异均无统计学意义。按性别分层调整混杂因素后分位数回归分析结果显示,膳食蛋白质摄入量在不同性别的各百分位数BMI及腰围的条件分布下回归系数均有统计学意义($P < 0.05$),回归系数平行性检验 $P < 0.05$ 。结论 不同条件分布下,膳食蛋白质摄入量与BMI及腰围存在负向相关,且呈现趋势性,对于高BMI和高腰围人群,蛋白质摄入量的影响程度更大。

关键词: 蛋白质摄入量 体质指数 腰围 分位数回归

中图分类号: R151.41 R181.37

文献标志码: A

Relationship between protein intake and body mass index and waist circumference in Chinese adults using quantile regression analysis

Yao Yuqing, Xing Xing, Lü Bing, Min Jie

Department of Epidemiology and Statistics, School of Public Health, Southeast University, Nanjing 210009, China

Abstract: Objective To study the relationship between dietary protein intake and body mass index (BMI) and waist circumference under the distribution of different quantile. **Methods** The data of adult residents of 12 provinces from Chinese Health and Nutrition Survey in 2011 were used to analyze the relationship between protein intake and BMI and waist circumference by quantile regression analysis. **Results** There were 11800 subjects in total, 5623 (47.7%) were male, the average age was (51.5±15.1) years old, for female, 6177 (52.3%) and (51.9±15.0) years old, respectively. The protein intake was (1.1±0.4) g/kg BW in men and (1.0±0.4) g/kg BW in women. Significant sex differences were found in waist circumference, energy, protein intake, carbohydrate

基金项目: 中国疾病预防控制中心和美国北卡罗来纳大学人口中心合作项目“中国健康与营养调查”(No. R01-HD30880, DK056350, R01-HD38700)

作者简介: 姚欲清,男,硕士,研究方向: 流行病与卫生统计学, E-mail: 479636579@qq.com

1 国家食品安全风险评估中心

2 通信作者: 闵捷,女,副教授,研究方向: 流行病与卫生统计学, E-mail: minjie93@163.com

intake, smoking, drinking and working status, activity and educational level ($P < 0.05$), but there were no significant difference between male and female in age, BMI, fat intake and urban rural ratio. After sex-stratified, the result of the regression analysis showed that quantile regression coefficients adjusting for other confounders between protein intake and BMI and waist circumference both in male and female, and the parallelism test for regression coefficient at different quantile were statistically significant ($P < 0.05$).

Conclusion Under the distribution of different quantile, dietary protein intake is negatively correlated with BMI and waist circumference, and there is a descending trend, which means that protein intake has a greater impact on population with higher BMI and higher waist circumference.

Key words: protein intake, body mass index, waist circumference, quantile regression

近些年来,伴随着经济水平的提高以及人们日常生活方式的转变,人群中超重与肥胖的患病率越来越高,已变成全球健康问题^[1-2]。超重和肥胖是引起高血压、冠心病等心血管疾病的重要危险因素^[3-5]。研究表明,改善饮食和加强体育锻炼是预防超重和肥胖的重要措施之一,膳食营养素摄入量与人群体质指数(body mass index, BMI)之间存在相关^[6-10],尤其蛋白质摄入 > 0.8 g/kg BW的高蛋白饮食人群中,通常会有较低的BMI值及腰围且发生心血管疾病的风险会更低^[11-13]。

以往的研究更多的是通过多元线性回归分析BMI及腰围与蛋白质摄入量之间的关系^[12,14-16],而通过最小二乘法只能估计BMI及腰围受膳食营养素摄入量影响的平均变化水平,且对资料有着严格的要求。近些年随着分位数回归的广泛发展,现已成为经济学、社会学、医学等领域的常用方法之一,张琪等^[17]应用分位数回归分析膳食营养素摄入量与BMI及腰围关系。分位数回归对资料的分布不作要求,同时可以体现整个BMI和腰围分布的各部分信息,尤其可以充分考虑极端值影响的特点,分析膳食蛋白质摄入量对高BMI和低BMI人群的影响差异及变化程度,而这在最小二乘估计时可能会被忽略掉^[18-20]。因此本研究通过收集“中国健康与营养调查(Chinese Health and Nutrition Survey, CHNS)”项目的调查数据,采用分位数回归探讨膳食蛋白质摄入量与不同百分位数BMI及腰围之间的关系,为合理膳食控制体重提供参考依据。

1 资料与方法

1.1 样本数据

资料来源于中国疾病预防控制中心与美国北

卡罗来纳大学合作开展的“中国健康与营养调查(CHNS)”项目2011年调查的数据,网址为http://www.cpc.unc.edu/projects/china/data/datasets/data_downloads/longitudinal。该调查采用了分层多阶段整群随机抽样的方法对中国12个省(自治区、直辖市)(黑龙江、辽宁、贵州、河南、山东、江苏、湖北、湖南、广西、北京、上海及重庆)居民的社会人口学特征、膳食资料和体格指标等方面进行调查。2011年参加CHNS膳食调查的居民共有15002名,本文研究对象为18岁及以上且有完整的膳食调查资料、社会人口学特征(包括年龄、性别、教育程度、城市农村来源、工作状态)、体格测量指标(包括身高、体重、腰围)及生活方式(包括吸烟、饮酒、体力活动水平)记录的成年居民,通过数据清理、剔除孕妇及乳母后,最终纳入11800名。

1.2 膳食调查

采用连续3天24小时膳食回顾法和家庭食物称重法收集个体连续3天食物食入数据及家庭连续3天食用油和调味品消费量数据。

1.3 体格测量及体质指数

体格测量包括身高、体重、血压、腰围、臀围、上臂围和三头肌皮褶厚度,本文涉及到的指标和测量方法如下:

1.3.1 身高 采用身高计。用前校对调零,测量时脱鞋、脱帽,以厘米为单位记录到小数点后一位,测量两次取平均值。

1.3.2 体重 采用电子体重秤,用前校对调零,测量时仅穿内衣,以千克为单位记录到小数点后一位。

1.3.3 腰围 以腋中线肋弓下缘和髂嵴连线中点的水平位置为测量点,在双侧测量点做标记,以厘米为单位记录到小数点后一位,测量两次取平均值。

1.3.4 体质指数 依据身高和体重计算, BMI = 体重(kg) / 身高(m)²。

1.4 统计学分析

采用 SAS 9.3 软件, 对不同性别成年居民的膳食营养素摄入量、社会人口学特征、体格指标及生活方式之间的差异进行分析。对于分类资料采用频数和构成比描述, 并采用卡方检验比较不同性别居民间各项指标有无差异; 计量资料采用 $\bar{x} \pm s$ 描述, 两独立样本采用 *t* 检验, 多样本数据用方差分析。采用分位数回归分析不同性别居民蛋白质摄入量(g/kg BW) 对不同分位数 BMI 值及腰围的影响, 并对不同百分位数的回归系数做平行性检验。以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 调查对象一般特征

纳入本研究的调查对象共有 11 800 人, 其中成年男性 5623 (47.7%) 人, 平均年龄为 (51.5 ± 15.1) 岁, 成年女性 6177 (52.3%) 人, 平均年龄为 (51.9 ± 15.0) 岁, 男、女性的蛋白质摄入量分别为 (1.1 ± 0.4) 和 (1.0 ± 0.4) g/kg BW。男、女性在腰围、能量、蛋白质摄入量、碳水化合物摄入量、活动水平、教育程度、吸烟、饮酒及工作状态上差异均有统计学意义 ($P < 0.05$), 而在年龄、BMI、脂肪摄入量及城市农村比例上男、女性别差异均无统计学意义 ($P > 0.05$)。见表 1。

表 1 中国十二省成年居民一般特征

特征	男性 ($n = 5623$)	女性 ($n = 6177$)	t/χ^2	<i>P</i>
年龄/岁	51.5 ± 15.1	51.9 ± 15.0	-1.23	0.2171
体质指数	23.8 ± 3.4	23.7 ± 3.7	1.63	0.1026
腰围/cm	86.2 ± 10.4	82.1 ± 10.4	21.24	<0.0001
能量/(kcal/d)	2087.6 ± 684.5	1746.3 ± 578.3	29.11	<0.0001
蛋白质/(g/kg BW)	1.1 ± 0.4	1.0 ± 0.4	3.56	0.0004
脂肪/(g/kg BW)	1.2 ± 0.6	1.2 ± 0.6	-0.56	0.5723
碳水化合物/(g/kg BW)	4.1 ± 1.9	4.0 ± 1.8	2.97	0.0030
吸烟				
是	3459 (61.5)	220 (3.6)	4607.33	<0.0001
否	2164 (38.5)	5957 (96.4)		
饮酒				
是	3329 (59.2)	704 (11.4)	2990.29	<0.0001
否	2294 (40.8)	5473 (88.6)		
城市农村				
城市	2304 (41.0)	2548 (41.3)	0.09	0.7615
农村	3319 (59.0)	3629 (58.7)		
活动水平				
轻	3119 (55.5)	4132 (66.9)	197.77	<0.0001
中	1008 (17.9)	650 (10.5)		
重	1496 (26.6)	1395 (22.6)		
教育程度				
文盲	700 (12.5)	1665 (26.9)	397.01	<0.0001
小学及初中	2840 (50.5)	2751 (44.5)		
高中及以上	2083 (37.0)	1761 (28.6)		
工作				
是	3739 (66.5)	3037 (49.2)	361.51	<0.0001
否	1884 (33.5)	3140 (50.8)		

注: 括号外为人数, 括号内为构成比(%)

2.2 BMI 与蛋白质摄入量的关系

按性别分层后分别建立蛋白质摄入量与 BMI 关系的多元线性回归模型, 采用逐步回归法 ($\alpha_{\text{入}} = 0.15$, $\alpha_{\text{出}} = 0.15$), 最终在男性模型中纳入的解释变量有年龄、吸烟、饮酒、教育程度、工作状态、蛋白质摄入量(g/kg BW)、脂肪摄入量(g/kg BW)、碳水化合物摄入量(g/kg BW) 及

能量摄入量(kcal/d), 在女性模型中为年龄、教育程度、蛋白质摄入量(g/kg BW)、脂肪摄入量(g/kg BW)、碳水化合物摄入量(g/kg BW) 及能量摄入量(kcal/d), 根据最小二乘法估计蛋白质摄入量的回归系数在男、女中分别为 -2.30 和 -2.60, $P < 0.05$, 决定系数(R^2) 在男、女模型中分别为 0.63 和 0.69。分位数回归结果显示, 在

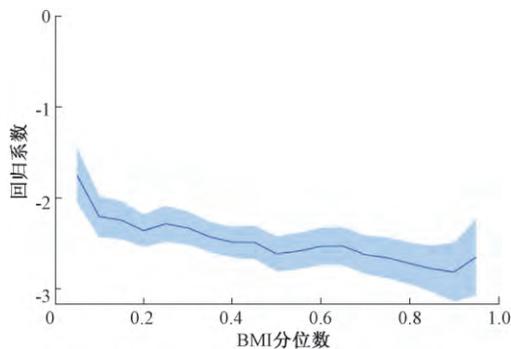
BMI 的 0.05 ~ 0.95 百分数上,其回归系数均有统计学意义($P < 0.05$)。见表 2。男、女性不同百分位数 BMI 与蛋白质摄入量的回归系数呈现

下降趋势,其平行性检验卡方值在男、女性中分别为 83.87 和 42.21, P 值均 < 0.05 。见图 1、图 2。

表 2 中国十二省成年居民蛋白质摄入量与 BMI 关系的分位数回归分析⁽¹⁾

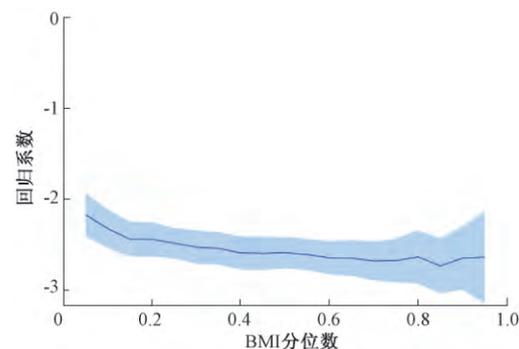
分位数	男 ⁽²⁾			女 ⁽³⁾		
	β	95% CI	P	β	95% CI	P
最小二乘法	-2.30	-2.47 ~ -2.14	< 0.0001	-2.60	-2.77 ~ -2.43	< 0.0001
分位数回归						
0.1	-2.14	-2.36 ~ -1.92	< 0.0001	-2.33	-2.54 ~ -2.11	< 0.0001
0.2	-2.29	-2.47 ~ -2.12	< 0.0001	-2.45	-2.64 ~ -2.26	< 0.0001
0.3	-2.26	-2.44 ~ -2.09	< 0.0001	-2.53	-2.72 ~ -2.35	< 0.0001
0.4	-2.42	-2.58 ~ -2.25	< 0.0001	-2.60	-2.78 ~ -2.41	< 0.0001
0.5	-2.54	-2.73 ~ -2.35	< 0.0001	-2.59	-2.77 ~ -2.42	< 0.0001
0.6	-2.46	-2.66 ~ -2.26	< 0.0001	-2.65	-2.83 ~ -2.47	< 0.0001
0.7	-2.55	-2.76 ~ -2.34	< 0.0001	-2.68	-2.90 ~ -2.47	< 0.0001
0.8	-2.64	-2.86 ~ -2.42	< 0.0001	-2.64	-2.93 ~ -2.34	< 0.0001
0.9	-2.73	-3.05 ~ -2.42	< 0.0001	-2.65	-3.00 ~ -2.30	< 0.0001

注: (1) 男性 BMI 的分界点依次为 19.6、20.9、21.9、22.8、23.7、24.5、25.4、26.6 及 28.2,女性分别为 19.3、20.6、21.6、22.5、23.4、24.3、25.4、26.6 及 28.4。(2) 调整年龄、吸烟、饮酒、教育程度、工作状态、脂肪摄入量、碳水化合物摄入量及能量摄入量;(3) 调整年龄、教育程度、脂肪摄入量、碳水化合物摄入量及能量摄入量



实线: BMI 在 0.05 ~ 0.95 百分位数上每增加 0.05 做条件回归的回归系数;灰色区:相应回归系数的置信带。所有的回归系数和置信带均调整年龄、吸烟、饮酒、教育程度、工作状态、脂肪摄入量、碳水化合物摄入量及能量摄入量。各百分位数上回归系数均有统计学意义($P < 0.05$),且平行性检验 $\chi^2 = 83.87$ $P < 0.0001$

图 1 中国十二省成年男性膳食蛋白质摄入量与不同百分位数 BMI 的关系



实线: BMI 在 0.05 ~ 0.95 百分位数上每增加 0.05 做条件回归的回归系数;灰色区:相应回归系数的置信带。所有的回归系数和置信带均调整年龄、教育程度、脂肪摄入量、碳水化合物摄入量及能量摄入量。各百分位数上回归系数均有统计学意义($P < 0.05$),且平行性检验 $\chi^2 = 42.21$ $P < 0.0001$

图 2 中国十二省成年女性膳食蛋白质摄入量与不同百分位数 BMI 的关系

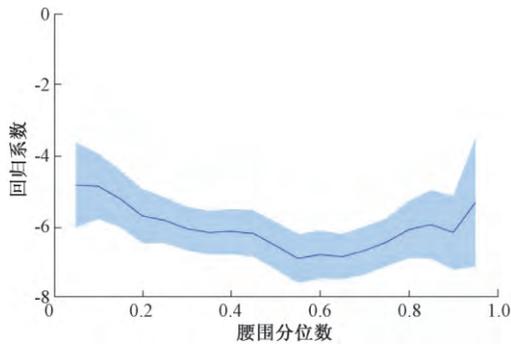
2.3 腰围与蛋白质摄入量的关系

在调整 BMI 与蛋白质摄入量的关系研究中相同的混杂因素后,蛋白质摄入量与不同腰围分位数条件回归的回归系数均有统计学意义($P < 0.05$),回归系数平行性检验卡方值在男、女性中依次为 87.33 和 34.79 $P < 0.05$ 。见图 3、图 4。

3 讨论

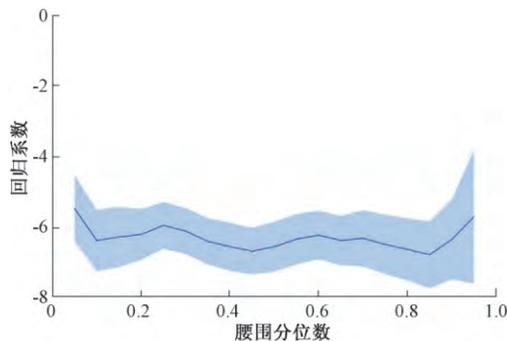
2011 年 CHNS 膳食调查结果表明男、女性居民的膳食蛋白质摄入量之间存在差异,且在腰围、吸烟、饮酒、活动水平及教育程度等方面均存在差异,对性别分层后,不同体质指数人群的蛋白质摄

摄入量在男、女性均存在差异。按性别分层建模后的分位数回归结果表明,男、女性蛋白质摄入量与 BMI 之间存在负向相关,且在高 BMI 值人群中,蛋白质摄入量的影响程度更大,与相关研究结果基本相一致^[14,16,21]。蛋白质摄入量对不同性别、不同分位数条件下 BMI 的影响存在差异,对腰围的影响在男性中存在差异,这种差异呈现一定的趋势,即蛋白质摄入量对 BMI 值和腰围的影响程度在高 BMI 和高腰围人群中更大,不同百分位数上的回归系数平行性检验均有统计学意义,与相关研究基本相符^[10,12]。这意味着增加蛋白质摄入量可能是控制 BMI 及腰围的一个重要措施,尤



实线: 腰围在 0.05 ~0.95 百分位数上每增加 0.05 做条件回归的回归系数; 灰色区: 相应回归系数的置信带。所有的回归系数和置信带均调整年龄、吸烟、饮酒、教育程度、工作状态、脂肪摄入量、碳水化合物摄入量及能量摄入量。各百分位数上回归系数均有统计学意义 ($P < 0.05$), 且平行性检验 $\chi^2 = 87.33$ $P < 0.0001$

图 3 中国十二省成年男性膳食蛋白质摄入量与不同百分位数腰围的关系



实线: 腰围在 0.05 ~0.95 百分位数上每增加 0.05 做条件回归的回归系数; 灰色区: 相应回归系数的置信带, 所有的回归系数和置信带均调整年龄、教育程度、脂肪摄入量、碳水化合物摄入量及能量摄入量。

各百分位数上回归系数均有统计学意义 ($P < 0.05$), 平行性检验 $\chi^2 = 34.79$ $P = 0.01$

图 4 中国十二省成年女性膳食蛋白质摄入量与不同百分位数腰围的关系

其是高 BMI 和高腰围人群。在对女性腰围的研究中, 虽然不同腰围条件分布下膳食蛋白质摄入量的回归系数平行性检验差异有统计学意义, 但是这种变化趋势并无明显规律, 可能是由于女性腰围相对于男性较小且更加集中, 有待于进一步的研究。

研究膳食营养素摄入量与体质指数及腰围的关系大多采用多元性回归的分析方法, 本研究通过对资料进行残差分析后发现, 资料并不满足最小二乘估计的前提假设, 同时结合分位数回归能体现整个 BMI 和腰围人群分布的各部分信息特点, 对性别分层后分别建立了男、女性膳食蛋白质摄入量与 BMI、腰围的关系模型, 校正了部分变量

可能存在的混杂作用, 在揭示了蛋白质摄入量对 BMI 及腰围存在负向影响的情况下, 避免了多元线性回归单纯的研究蛋白质摄入量与 BMI 值及腰围平均水平关系的弊端, 更加全面地揭示了蛋白质摄入量对不同百分位数 BMI 值及腰围的影响变化程度, 从而可以看到膳食蛋白摄入量对高分位数人群(肥胖)比对低分位数人群(偏瘦)的 BMI 和腰围的影响程度要大。而在中位人群(正常)中, 膳食蛋白质摄入量对 BMI 和腰围的影响趋于平稳。这意味着对于 BMI 较大的人群采用高蛋白饮食可能对体重的控制有较好的效果。

本研究也有不足之处。首先, 此次调查数据是一次横断面调查, 存在一定的信息偏倚; 再者, 尽管本研究已调整了多个混杂因素, 但有些可能影响 BMI 值及腰围的经济收入指标由于信息不全而未能纳入模型。

综上所述, 膳食蛋白质摄入量与 BMI 及腰围之间在不同性别间均存在负向相关, 尤其是在高 BMI 和高腰围人群中, 蛋白质摄入量的影响程度更大。

参考文献

- [1] CARREIRA H, PEREIRA M, AZEVEDO A, et al. Trends of BMI and prevalence of overweight and obesity in Portugal (1995-2005): a systematic review [J]. *Public Health Nutr*, 2012, 15(6): 972-981.
- [2] NG M, FLEMING T, ROBINSON M. Global, regional, and national prevalence of overweight and obesity in children and adults during 1980-2013: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2013 [J]. *Lancet*, 2014, 384(9945): 746-766.
- [3] NAGAI M, OHKUBO T, MURAKAMI Y, et al. Secular trends of the impact of overweight and obesity on hypertension in Japan, 1980-2010 [J]. *Hypertens Res*, 2015, 38(11): 790-795.
- [4] CHA E, AKAZAWA M K, KIM K H, et al. Lifestyle habits and obesity progression in overweight and obese American young adults: Lessons for promoting cardiometabolic health [J]. *Nurs Health Sci*, 2015, 17(4): 467-475.
- [5] DANKEL S J, LOENNEKE J P, LOPRINZI P D. The impact of overweight/obesity duration on the association between physical activity and cardiovascular disease risk: an application of the "fat but fit" paradigm [J]. *Int J Cardiol*, 2015, 201: 88-89.
- [6] STEPHENS S K, COBIAC L J, VEERMAN J L.

- Improving diet and physical activity to reduce population prevalence of overweight and obesity: An overview of current evidence [J]. *Prev Med*, 2014, 62(2): 167-178.
- [7] PASIAKOS S M, METTEL J B, WEST K, et al. Maintenance of resting energy expenditure after weight loss in premenopausal women: potential benefits of a high-protein, reduced-calorie diet [J]. *Metabolism*, 2008, 57(4): 458-464.
- [8] PASIAKOS S M, CAO J J, MARGOLIS L M, et al. Effects of high-protein diets on fat-free mass and muscle protein synthesis following weight loss: a randomized controlled trial [J]. *Faseb J*, 2013, 27(9): 3837-3847.
- [9] WYCHERLEY T P, MORAN L J, CLIFTON P M, et al. Effects of energy-restricted high-protein, low-fat compared with standard-protein, low-fat diets: a meta-analysis of randomized controlled trials [J]. *Am J Clin Nutr*, 2012, 96(6): 1281-1298.
- [10] WYCHERLEY T P, BRINKWORTH G D, CLIFTON P M, et al. Comparison of the effects of 52 weeks weight loss with either a high-protein or high-carbohydrate diet on body composition and cardiometabolic risk factors in overweight and obese males [J]. *Nutr Diabetes*, 2012, 2: e40.
- [11] PADDON-JONES D, WESTMAN E, MATTES R D, et al. Protein, weight management, and satiety [J]. *Am J Clin Nutr*, 2008, 87(5): 1558-1561.
- [12] PASIAKOS S M, LIEBERMAN H R, FULGONI V L. Higher-protein diets are associated with higher HDL cholesterol and lower BMI and waist circumference in US adults [J]. *J Nutr*, 2015, 145(3): 605-614.
- [13] WESTERTERP-PLANTENGA M S, NIEUWENHUIZEN A, TOME D, et al. Dietary protein, weight loss, and weight maintenance [J]. *Annu Rev Nutr*, 2009, 29(1): 21-41.
- [14] LAYMAN D K, EVANS E, BAUM J I, et al. Dietary protein and exercise have additive effects on body composition during weight loss in adult women [J]. *J Nutr*, 2005, 135(8): 1903-1910.
- [15] 金瑛. 我国居民膳食多样化与营养状况及慢性疾病关系的研究[D]. 北京: 中国疾病预防控制中心营养与食品安全所, 2009.
- [16] LAYMAN D K, EVANS E M, ERICKSON D, et al. A moderate-protein diet produces sustained weight loss and long-term changes in body composition and blood lipids in obese adults [J]. *J Nutr*, 2009, 139(3): 514-521.
- [17] 张琪, 潘晓群, 杨婕, 等. 中国成年女性能量及宏量营养素摄入与超重肥胖关系的研究 [J]. *中华疾病控制杂志*, 2014, 18(4): 296-300.
- [18] MARRIE R A, DAWSON N V, GARLAND A. Quantile regression and restricted cubic splines are useful for exploring relationships between continuous variables [J]. *J Clin Epidemiol*, 2009, 62(5): 511-517.
- [19] CADE B S, NOON B R. A gentle introduction to quantile regression for ecologists [J]. *Front Ecol Environ*, 2003, 1(8): 412-420.
- [20] BURGETTE L F, REITER J P, MIRANDA M L. Exploratory quantile regression with many covariates: an application to adverse birth outcomes [J]. *Epidemiology*, 2011, 22(6): 859-866.
- [21] METTLER S, MITCHELL N, TIPTON K D. Increased protein intake reduces lean body mass loss during weight loss in athletes [J]. *Med Sci Sport Exer*, 2010, 42(2): 326-337.

收稿日期: 2016-12-23

(上接第817页)

- [17] LOSKA K, WIECHUŁA D, KORUS I. Antimony concentration in farming soil of southern Poland [J]. *Bull Environ Contam Toxicol*, 2004, 72(4): 858-865.
- [18] PAN Xiangliang, ZHANG Daoyong, CHEN Xi, et al. Antimony accumulation, growth performance, antioxidant defense system and photosynthesis of zeamays in response to antimony pollution in soil [J]. *Water Air Soil Pollution*, 2011, 215(1): 517-523.
- [19] DOMINGO J L, GEMMA P, JORDI G B. Dietary intake of metals by the population of tarragona county (Catalonia, Spain): results from a duplicate diet study [J]. *Biol Trace Element Res*, 2012, 146(3): 420-425.
- [20] YAN J C W, KWONG K P, CHUNG S W C, et al. Dietary exposure to antimony, lead and mercury of secondary school students in Hong Kong [J]. *Food Add Contam Part A*, 2008, 25(7): 831-840.

收稿日期: 2017-01-17