

膳食纤维和伸展蛋白与矿物质结合能力的比较研究

刘晶晶¹, 邓泽元^{1,2,*}

(1. 食品科学教育部重点实验室, 江西 南昌 330047;

2. 南昌大学食品科学与工程系, 江西 南昌 330047)

摘要: 本文主要研究了豆渣、胡萝卜水不溶性膳食纤维及其细胞壁中的伸展蛋白与矿物质(Zn^{2+} 、 Mg^{2+})的结合能力。结果表明: 豆渣膳食纤维与 Zn^{2+} 、 Mg^{2+} 在pH值为5.0时结合量达最大分别为1087 $\mu\text{g/g}$ 和687 $\mu\text{g/g}$, 豆渣伸展蛋白与 Zn^{2+} 、 Mg^{2+} 在pH值为5.0时结合量达最大分别为204 $\mu\text{g/g}$ 和147 $\mu\text{g/g}$; 胡萝卜膳食纤维与 Zn^{2+} 、 Mg^{2+} 在pH值为4.0时结合量达最大分别为1112 $\mu\text{g/g}$ 和392 $\mu\text{g/g}$, 胡萝卜伸展蛋白与 Zn^{2+} 、 Mg^{2+} 在pH值为5.0时结合量达最大分别为124 $\mu\text{g/g}$ 和176 $\mu\text{g/g}$ 。

关键词: 豆渣; 胡萝卜; 伸展蛋白; 膳食纤维; 矿物质

Study on Binding Capacity of Zn^{2+} and Mg^{2+} with Dietary Fiber and Extensin from Soybean Dregs and Carrot Roots

LIU Jing-jing¹, DENG Ze-yuan^{1,2,*}

(1. Key Laboratory of Food Science, Ministry of Education, Nanchang University, Nanchang 330047, China;

2. Department of Food Science and Technology, Nanchang University, Nanchang 330047, China)

Abstract: The binding capacity of Zn^{2+} and Mg^{2+} with diet fiber and extensin from the soybean dregs and carrot roots was studied in this article. The results are as follows: the maximal binding capacity of Zn^{2+} and Mg^{2+} with dietary fiber from soybean dregs is 1087 $\mu\text{g/g}$ and 687 $\mu\text{g/g}$ at pH5.0, respectively; that of Zn^{2+} and Mg^{2+} with extensin from soybean dregs 204 $\mu\text{g/g}$ and 147 $\mu\text{g/g}$ at pH5.0, respectively; that of Zn^{2+} and Mg^{2+} with dietary fiber from carrot roots 1112 $\mu\text{g/g}$ and 392 $\mu\text{g/g}$ at pH5.0, respectively; and that of Zn^{2+} and Mg^{2+} with extensin from carrot roots 124 $\mu\text{g/g}$ and 176 $\mu\text{g/g}$ at pH5.0, respectively.

Key words: soybean dregs; carrot root; extensin; diet fiber; trace elements

中图分类号: R151.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-6630(2006)06-0100-04

国内外很多专家认为功能性食品将是 21 世纪人类摄取的主要食品, 而膳食纤维(DF)作为一种极其重要的功能性食品基料已成为该领域研究的热门课题之一, 膳食纤维的营养及生理学功能近来日益受到人们的重视。膳食纤维具有多种生理功能^[1~4], 其中一些是通过对某些物质的束缚作用来实现的。如束缚 NO_2^- , 阻碍亚硝胺的形成, 从而防治胃癌; 束缚胆汁酸, 加速胆固醇的分解, 降低血脂, 防止高血压, 心脏病的发生; 束缚某些分泌过多激素, 防治乳腺癌、前列腺癌等与性激素有关的癌症; 束缚肠道中某些致癌物, 清除自由基, 防治结肠癌。与此同时, 膳食纤维影响食物中矿物质

的生物吸收率(Bioavailability)的问题也同样越来越引起食品科学与营养界的关注。

由于膳食纤维来源的多样性, 组成及结构的复杂性以及食物体系共存组分的影响等, 使得这方面的研究难度很大。在食品科学领域中, 国内外主要泛研究膳食纤维的分离、纯化及其主要组分如纤维素、半纤维素、果胶的组成、结构及其食品加工特性和在食品加工中的应用。在营养科学领域中, 国内外主要研究整个复杂物 DF 在肠道中对肠道生理(肠道分泌、肠道运动)、对营养物吸收、对肠道微生物群的影响等。但在这些研究中常以这群复杂的多糖为对象, 而用 DF 中单一组分

收稿日期: 2005-08-16

*通讯作者

基金项目: 教育部优秀青年教师资助计划项目(1819); 教育部“长江学者和创新团队发展计划”创新团队项目(IRT0540)

作者简介: 刘晶晶(1979-), 女, 硕士研究生, 主要从事营养与功能食品的研究。

的研究不多。Extensin 是一类富含羟脯氨酸的糖蛋白。从膳食纤维(DF)的定义看, Extensin 似乎不属于 DF 的成分, 但目前的 DF 分离方法它又确实包括在 DF 中。本研究主要探讨膳食纤维和 Extensin 对锌和镁金属元素的束缚程度, 为此探明这些问题对合理搭配食物和为某些人群进行食物辅助治疗具有十分重要的指导意义。

1 材料与方法

1.1 原料: 胡萝卜 市售; 豆渣 南昌大学学生食堂。

1.2 试剂与设备

试剂: CaCl_2 、三氯乙酸、三羟甲基氨基甲烷、 NaCl 、 NaOH 、 HCl 、乙醇、 HNO_3 等(除 HNO_3 为优级纯外, 其余试剂全部为分析纯)。

设备: SpectrAA. 10 原子吸收分光光度计 美 Varian 公司; RE-85Z 旋转蒸发器; SHE-D() 循环水式真空泵 巩义市英峪豫华仪器厂; FA1604 电子天平 上海天平仪器厂; HH·S11-4 电热恒温水浴锅、pHS-2 酸度计 上海雷磁仪器厂; 722 光栅分光光度计 上海第三分析仪器厂; 离心机 北京医用离心机厂等。

1.3 伸展蛋白的制备

豆渣(胡萝卜)经预处理后所得到的水不溶性物质加 40 倍体积 0.4mol/L CaCl_2 溶液, 在温度 40℃, pH6 条件下提取 6h 后, 以 4000r/min 的速度离心 10min 除去沉淀, 上清液经中空纤维超滤膜浓缩, 浓缩液加 100% 三氯乙酸(TCA)至终浓度 10%(除杂蛋白), 在 4℃ 下放置过夜; 然后以 4000r/min 的速度离心 1h, 去掉沉淀, 得到 10% TCA 可溶的粗伸展蛋白; 粗伸展蛋白溶液对蒸馏水透析 3d。所得到的粗伸展蛋白浓缩液再经过 CM- 纤维素柱(5 × 500cm), 先用 pH8.0 的 25mmol/L Tris-HCl 缓冲液洗脱未交换上的蛋白质; 然后用 pH8.0 的 Tris-HCl 缓冲液与等体积含 0.4mol/L NaCl 的 Tris-HCl 缓冲液进行梯度洗脱与纤维素结合的伸展蛋白。收集梯度洗脱下来的溶液再经透析除盐、浓缩得到伸展蛋白浓缩液, 所得到的伸展蛋白浓缩液用紫外吸收法测定其浓度。

1.4 蛋白质含量的测定 紫外吸收法。

1.5 膳食纤维的制备

1.5.1 豆渣水不溶性膳食纤维的制备^[5]

豆渣 漂洗 NaOH (pH12) 浸泡 1h 漂洗至中性
60℃ 酸液浸泡 2h(pH2) 漂洗至中性 过滤 烘干 粉碎

1.5.2 胡萝卜水不溶性膳食纤维的制备^[6]

胡萝卜 整理切片 捣碎去汁 HCl (pH2) 煮沸
10min NaOH (pH12) 浸泡 30min HCl (pH2 60℃) 浸泡 2h
漂洗 加乙醇煮沸 20min 过滤 烘干 粉碎

1.5.3 豆渣和胡萝卜水不溶性膳食纤维中内源性矿物质的脱除^[7]

称取一定量的豆渣和胡萝卜水不溶性膳食纤维置于 NaCl/EDTA (155mmol/L NaCl , 34mmol/L EDTA) 液中浸泡过夜, 离心分离, 再用二次水充分的洗涤, 所得到的沉淀经干燥即为脱除内源性矿物质的膳食纤维。

1.6 豆渣水不溶性膳食纤维与 Zn^{2+} 、 Mg^{2+} 饱和结合曲线的测定^[8]

分别取 50ml 几种浓度的 ZnSO_4 和 MgSO_4 无机盐溶液, 使之与 0.1g 左右的豆渣水不溶性膳食纤维在 37℃ 下平衡 12h, 平衡后用原子吸收分光光度计测定上清液中阳离子的浓度, 根据反应前后阳离子浓度差求出膳食纤维与 Zn^{2+} 、 Mg^{2+} 的结合率, 同时做空白实验。以 Zn^{2+} 、 Mg^{2+} 浓度为横坐标, 膳食纤维与 Zn^{2+} 、 Mg^{2+} 的结合量为纵坐标作图, 得到饱和结合曲线。(已扣除金属离子水解生成沉淀的影响)

$$Q_{\text{结合量}}(\mu\text{g/g}) = \frac{C_1V_1 - C_2V_2}{W}$$

C_1 — 平衡前游离金属离子的浓度(mg/L);

C_2 — 平衡后游离金属离子的浓度(mg/L);

V_1 — 平衡前溶液的体积(ml);

V_2 — 平衡后溶液的体积(ml);

W — 水不溶性膳食纤维的重量(g)。

1.7 豆渣和胡萝卜水不溶性膳食纤维与 Zn^{2+} 、 Mg^{2+} 结合能力的测定^[9]

取 0.1g 左右的已脱除内源性矿物质的豆渣和胡萝卜水不溶性膳食纤维分别加到 50ml 0.04mmol/L 的 ZnSO_4 (50ml 0.10mmol/L MgSO_4) 无机盐溶液中, pH 分别用稀 HCl 或 NaOH 调节到 2.0、3.0、4.0、5.0、6.0、7.0 和 8.0, 模拟胃及肠道条件下在 37℃ 下平衡 12h, 平衡后将溶液离心, 上清液用原子吸收分光光度计测定各阳离子的浓度, 根据反应前后阳离子浓度差求出结合百分率, 同时做空白实验。(已扣除金属离子水解生成沉淀的影响)

1.8 豆渣和胡萝卜细胞壁中伸展蛋白与 Zn^{2+} 、 Mg^{2+} 结合能力的测定^[10]

分别取一定量浓度为 0.04mmol/L 的 ZnSO_4 (0.10mmol/L MgSO_4) 溶液于 7 个 100ml 的锥形瓶中, 然后加 10ml 从豆渣和胡萝卜细胞壁中提取的伸展蛋白浓缩液, pH 分别用稀 HCl 或 NaOH 调节到 2.0、3.0、4.0、5.0、6.0、7.0 和 8.0, 模拟胃及肠道条件下在 37℃ 下平衡 12h, 平衡后的溶液采用半透膜(截留分子量为 8000~14000)透析的方法把平衡后游离的阳离子与 Extensin 结合态的阳离子分离, 至透析液中经检测不含 Zn^{2+} 为止, 然后把透析袋内的溶液定容到一定的体积, 测定 Zn^{2+} (Mg^{2+}) 的浓度, 即伸展蛋白与 Zn^{2+} 的结合量。(已扣除金属离子水解生成沉淀的影响)

$$Q_{\text{结合量}}(\mu\text{g/g}) = \frac{1000C_1V_1}{C_2V_2}$$

C_1 —经平衡、透析、定容后溶液中游离金属离子的浓度(mg/L)；

C_2 —伸展蛋白浓缩液的浓度(mg/ml)；

V_1 —平衡后溶液的体积(ml)；

V_2 —伸展蛋白浓缩液的体积(ml)。

2 结果与分析

2.1 豆渣水不溶性膳食纤维与 Zn^{2+} 的饱和结合曲线

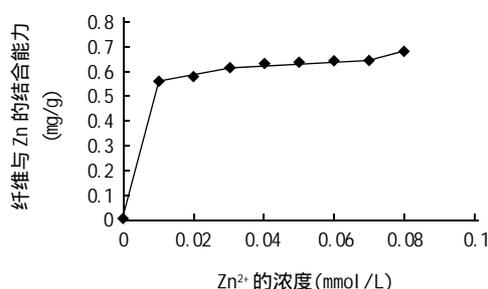


图1 豆渣水不溶性膳食纤维与 Zn^{2+} 的饱和结合曲线

Fig.1 The saturation binding curve of $Zn(II)$ with insoluble dietary fiber from soybean dregs

从上图可以看出,随着 Zn^{2+} 浓度的逐渐增大,豆渣水不溶性膳食纤维与 Zn^{2+} 的结合能力也随着增大,当 Zn^{2+} 浓度达到 0.04mmol/L 时,豆渣水不溶性膳食纤维与 Zn^{2+} 的结合量基本达最大值为 0.63mg/g。

2.2 豆渣水不溶性膳食纤维与 Mg^{2+} 的饱和结合曲线

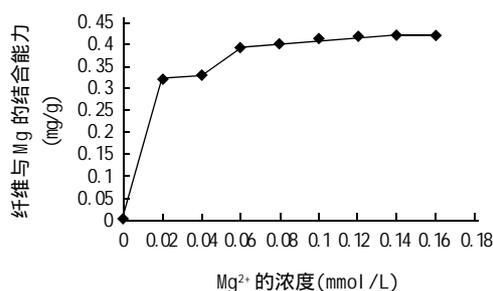


图2 豆渣水不溶性膳食纤维与 Mg^{2+} 的饱和结合曲线

Fig 2 The saturation binding curve of $Mg(II)$ with insoluble diet fiber from soybean dregs

从上图可以看出,随着 Mg^{2+} 浓度的逐渐增大,豆渣水不溶性膳食纤维与 Mg^{2+} 的结合能力呈现相关性,当 Mg^{2+} 浓度达到 0.10mmol/L 时,豆渣水不溶性膳食纤维与 Mg^{2+} 的结合量基本达最大值为 0.415mg/g。

2.3 豆渣、胡萝卜膳食纤维和伸展蛋白与 Zn^{2+} 的结合能力

表1 豆渣、胡萝卜膳食纤维和伸展蛋白与 Zn^{2+} 的结合能力($\mu\text{g/g}$)
Table 1 Binding capacity (BC) of Zn^{2+} with dietary fiber and extensin from soybean dregs and carrot roots ($\mu\text{g/g}$)

pH	结合能力($\mu\text{g/g}$)			
	豆渣		胡萝卜	
	膳食纤维	伸展蛋白	膳食纤维	伸展蛋白
2.0	662 ± 54.15 ^a	162 ± 21.22 ^a	422 ± 34.12 ^a	89 ± 9.71 ^a
3.0	601 ± 34.99 ^{ab}	173 ± 22.61 ^a	762 ± 22.91 ^b	78 ± 12.66 ^{ac}
4.0	909 ± 45.29 ^c	178 ± 21.63 ^a	1112 ± 78.13 ^c	82 ± 11.53 ^{ac}
5.0	1087 ± 66.05 ^e	204 ± 24.56 ^a	687 ± 32.36 ^b	124 ± 11.36 ^b
6.0	446 ± 77.18 ^{bd}	87 ± 24.98 ^{cd}	498 ± 31.58 ^a	71 ± 8.19 ^{ac}
7.0	438 ± 51.18 ^{bd}	98 ± 32.23 ^{bc}	423 ± 21.07 ^a	76 ± 6.56 ^{ac}
8.0	357 ± 53.15 ^d	64 ± 16.09 ^{cd}	417 ± 30.12 ^a	53 ± 15.87 ^c

注:表中数据表示为平均数 ± SD,同一列中数字后不同的上标字母之间为差异显著($p < 0.05$)。

从表1可以看出,在较低pH值时,此时酸度越高,豆渣、胡萝卜膳食纤维和伸展蛋白与矿物质元素(Zn^{2+})的结合较弱,随着pH值的升高,溶液中 H^+ 浓度逐渐下降,豆渣、胡萝卜膳食纤维和伸展蛋白与矿物质元素(Zn^{2+})结合能力增大。由于膳食纤维和伸展蛋白的来源不同,组成膳食纤维的这些物质结构也不同,所以它们与 Zn^{2+} 达到最大结合量时的pH值不同,豆渣膳食纤维与 Zn^{2+} 在pH值为5.0时结合量达最大为1087 $\mu\text{g/g}$,豆渣伸展蛋白与 Zn^{2+} 在pH值为5.0时结合量达最大为204 $\mu\text{g/g}$;胡萝卜膳食纤维与 Zn^{2+} 在pH值为4.0时结合量达最大为1112 $\mu\text{g/g}$,胡萝卜伸展蛋白与 Zn^{2+} 在pH值为5.0时结合量达最大为124 $\mu\text{g/g}$ 。当pH值达到中性再逐渐增大时,它们与 Zn^{2+} 的结合能力都呈下降的趋势。

2.4 豆渣、胡萝卜膳食纤维和伸展蛋白与 Mg^{2+} 的结合能力

表2 豆渣、胡萝卜膳食纤维和伸展蛋白与 Mg^{2+} 的结合能力($\mu\text{g/g}$)
Table 2 Binding capacity (BC) of Mg^{2+} with dietary fiber and extensin from soybean dregs and carrot roots ($\mu\text{g/g}$)

pH	结合能力($\mu\text{g/g}$)			
	豆渣		胡萝卜	
	膳食纤维	伸展蛋白	膳食纤维	伸展蛋白
2.0	361 ± 18.52 ^a	43 ± 16.46 ^a	207 ± 21.93 ^a	68 ± 7.40 ^a
3.0	394 ± 10.81 ^{ab}	75 ± 8.19 ^{cb}	293 ± 24.33 ^b	73 ± 16.46 ^a
4.0	486 ± 43.49 ^c	103 ± 7.55 ^d	392 ± 28.0 ^c	117 ± 8.19 ^c
5.0	687 ± 63.21 ^d	147 ± 10.54 ^e	348 ± 12.49 ^d	176 ± 14.18 ^d
6.0	456 ± 47.46 ^{bc}	95 ± 22.72 ^{bd}	388 ± 18.52 ^c	87 ± 12.12 ^{ac}
7.0	452 ± 18.73 ^{bc}	123 ± 18.73 ^{de}	357 ± 15.52 ^{cd}	76 ± 18.62 ^a
8.0	389 ± 30.32 ^a	71 ± 13.86 ^b	338 ± 14.73 ^d	24 ± 3.72 ^b

注:表中数据表示为平均数 ± SD,同一列中数字后不同的上标字母之间为差异显著($p < 0.05$)。

从上表可以看出,在较低pH值时,此时酸度越高,豆渣、胡萝卜膳食纤维和伸展蛋白与矿物质元素(Mg^{2+})的结合较弱,随着pH值的升高,溶液中 H^+ 浓度逐渐下降,豆渣、胡萝卜膳食纤维和伸展蛋白与矿物

质元素(Mg^{2+})结合能力增大。由于膳食纤维和伸展蛋白的来源不同,组成膳食纤维的这些物质结构也不同,所以它们与 Mg^{2+} 达到最大结合量时的pH值不同,豆渣膳食纤维与 Mg^{2+} 在pH值为5.0时结合量达最大为687 $\mu g/g$,豆渣伸展蛋白与 Mg^{2+} 在pH值为5.0时结合量达最大为147 $\mu g/g$;胡萝卜膳食纤维与 Mg^{2+} 在pH值为4.0时结合量达最大为392 $\mu g/g$,胡萝卜伸展蛋白与 Mg^{2+} 在pH值为5.0时结合量达最大为176 $\mu g/g$ 。当pH值达到中性再逐渐增大时,它们与 Mg^{2+} 的结合能力都呈下降的趋势。

3 讨论

3.1 豆渣、胡萝卜膳食纤维和伸展蛋白与矿物质元素(Zn^{2+} 、 Mg^{2+})结合的量 and 达到最大结合时的pH值是各不相同的

豆渣、胡萝卜膳食纤维和伸展蛋白与矿物质元素(Zn^{2+} 、 Mg^{2+})结合的量 and 达到最大结合时的pH值是各不相同的。豆渣膳食纤维与 Zn^{2+} 在pH值为5.0时结合量达最大为1087 $\mu g/g$,豆渣伸展蛋白与 Zn^{2+} 在pH值为5.0时结合量达最大为204 $\mu g/g$;胡萝卜膳食纤维与 Zn^{2+} 在pH值为4.0时结合量达最大为1112 $\mu g/g$,胡萝卜伸展蛋白与 Zn^{2+} 在pH值为5.0时结合量达最大为124 $\mu g/g$;豆渣膳食纤维与 Mg^{2+} 在pH值为5.0时结合量达最大为687 $\mu g/g$,豆渣伸展蛋白与 Mg^{2+} 在pH值为5.0时结合量达最大为147 $\mu g/g$;胡萝卜膳食纤维与 Mg^{2+} 在pH值为4.0时结合量达最大为392 $\mu g/g$,胡萝卜伸展蛋白与 Mg^{2+} 在pH值为5.0时结合量达最大为176 $\mu g/g$ 。其主要是由于矿物质元素的种类不同,其化学性质也有差异,亦即络合物的稳定性是不同的;再加上膳食纤维和伸展蛋白的来源不同,构成膳食纤维的组成和空间结构也不同。Burkhalter等^[11]的研究表明,不同的膳食纤维组分及其各组分不同组合都能影响膳食纤维对矿物质的束缚能力;同样,不同来源膳食纤维的某种空间结构也会影响对矿物质的束缚作用。

3.2 豆渣和胡萝卜膳食纤维、伸展蛋白与 Zn^{2+} 、 Mg^{2+} 的结合能力

豆渣和胡萝卜膳食纤维与 Zn^{2+} 、 Mg^{2+} 的结合能力都比伸展蛋白强,可能有以下几方面的原因:王忠德等^[12]对膳食纤维与矿物质复合物的结构分析已经表明,一般膳食纤维对矿物质的束缚作用是通过膳食纤维的羧基成键作用完成的。James等^[13]通过实验对二十种不同来源的膳食纤维与Ca(II)的相互作用进行研究,推测膳食纤维与矿物质相互作用的功能基团极可能与膳食纤维中糖醛酸上的羧基含量有相关性的分子基础。因此,一般认为糖醛酸的羧基是膳食纤维与矿物质元素结合的主要配基,当然也不完全排除其它配基起作用的可能。而伸展蛋白是以肽链为主链,氨基酸的支链上连有阿拉伯

糖和半乳糖,且主链上含有大量的羟脯氨酸,但其羟脯氨酸的羟基上连有阿拉伯糖,所以构成伸展蛋白的羟脯氨酸游离羟基数减少了,因此伸展蛋白与矿物质结合的配基数目减少,结合能力比膳食纤维弱。

3.3 豆渣和胡萝卜膳食纤维、伸展蛋白与 Zn^{2+} 、 Mg^{2+} 的结合能力随pH值的变化

为了讨论方便,把膳食纤维与二价矿物质元素结合简化表示成 $2RCOOH+M^{2+}=(RCOO)_2M+2H^+$,随着pH值的升高,溶液中 H^+ 浓度逐渐下降,豆渣、胡萝卜膳食纤维和伸展蛋白与矿物质元素(Zn^{2+} 、 Mg^{2+})结合能力增大,这与本实验的结果是一致的。当pH值达到中性再继续增大时,矿物质与膳食纤维、伸展蛋白的结合量都下降,造成这一点的原因很多,主要存在以下三方面的因素,其一是pH上升,金属离子的水解加剧,溶液中游离的可供膳食纤维、伸展蛋白吸附结合的离子浓度下降,其二是pH上升,膳食纤维、伸展蛋白本身的结构可能会发生改变,从而使其与金属离子的结合能力下降;其三是在较高pH值下,其它起作用的配基突然失活。

参考文献:

- [1] 欧仕益,高孔荣,吴晖. 麦麸膳食纤维清除重金属离子的研究[J]. 食品科学, 1998, 9(5): 7-10.
- [2] 伍立居,李平,汪锦邦. 从玉米皮及豆皮中制取食用纤维的研究[J]. 食品与发酵工业, 1996, (5): 44-48.
- [3] 张延坤. 关于豆渣的综合开发利用[J]. 天津农业科学, 1994, (4): 23-27.
- [4] 欧仕益,高孔荣,黄惠华. 麦麸膳食纤维抗氧化和·OH自由基清除活性的研究[J]. 食品工业科技, 1997, (5): 44-45.
- [5] 许喜林,赖凤英,张孟均,等. 豆腐渣中提取水不溶性膳食纤维的研究[J]. 广州食品工业科技, 2000, 16(1): 33-34.
- [6] 曹树稳,黄绍华. 几种膳食纤维的制备工业研究[J]. 食品科学, 1997, 18(6): 41-45.
- [7] 温辉梁,余燕影,曹树稳,等. 油菜茎膳食纤维体外与矿物元素结合能力的研究[J]. 南昌大学学报(理科版), 2000, 24(4): 346-349.
- [8] A Ldouraine, M J Khan, E A Kohlhepp, et al. *In vitro* mineral binding capacity of three fiber sources for Ca, Mg, Cu and Zn by two different methods[J]. International Journal of Food Science and Nutrition, 1996, 47: 285-293.
- [9] Seal BCJ, Heaton FW. Chemical factors affecting the intestinal absorption of zinc *in vivo* and *in vitro*[J]. British Journal of Nutrition, 1983, 50: 317-324.
- [10] Miller D D, Schriker B R, Rasmussen R R. An *in vitro* method for estimation of iron availability from meals[J]. The American Journal of Clinical Nutrition, 1981, 34: 2248-2256.
- [11] Burkhalter T M, Merchen N R, Bauer L L, et al. The ratio of insoluble to soluble fiber components in soybean hulls affects ileal and total tract nutrient digestibilities and fecal characteristics of dogs[J]. The Journal of Nutrition, 2001, 131(7): 1978-1985.
- [12] 王忠德,王云翘,宋世廉,等. 大豆、大麦种皮中膳食纤维与Fe(II)、Zn(II)、Mg(II)复合物的红外光谱研究[J]. 食品与发酵工业, 1994, (1): 8-12.
- [13] James WPT, Chesson A. Physiological functionality in foods: a public health perspective[J]. Food Science and Technology Today, 1998, 12(1): 34-37.