

## • 论著 •

## 天然虾青素 90 天喂养试验研究

陈东方,王海玉,张聪恪,李立,张焱,孟光

**摘要:**目的 评价天然虾青素的食用安全性。方法 96 只 SD 大鼠,雌雄各半,分为 4 个剂量组,分别给予 1.0 g/kg、2.0 g/kg、4.0 g/kg 受试物,对照组给予色拉油。连续灌胃 90 d。结果 大鼠一般表现良好,生长发育正常。对体重、食物利用率均无明显影响,对大鼠肝功能、肾功能、血液学指标无明显影响。组织病理学检查显示,除有少许常见自发病变外,均未观察到与摄入样品有关的组织病理学改变。结论 天然虾青素大鼠 90 d 喂养试验,最大未观察到有害作用剂量( NOAEL) > 4.0 g/kg。

**关键词:**动物试验;天然虾青素;90 d 喂养试验

**中图分类号:**R155.5 **文献标识码:**A **文章编号:**1006-8414(2011)06-0423-03

**Study on the 90 days Feeding test of Natural Astaxanthin in Rats** CHEN Dong-fang, WANG Hai-yu, ZHANG Cong-ke, Li Li, ZHANG Yan, MENG Guang. Henan Centres for Diseases Control and Prevention, Zhengzhou 450016, China.

**Abstract: Objective** To investigate the toxicity of natural astaxanthin in rats. **Method** 96 SD rats were randomly divided into four groups: soybean oil control group and three experimental groups in which the doses of natural astaxanthin were 1.0, 2.0 and 4.0 g/kg bw respectively. Each group was consisted of 12 males and 12 females. **Results** After orally administered for 90 days, no abnormality of animal growth and development, weight and food efficient were detected. Natural astaxanthin had no adverse effect in liver function, renal function and hematology indexes. Histopathology examination showed no damage caused by natural astaxanthin, in addition to some spontaneous pathological changes. **Conclusion** The NOAEL of natural astaxanthin was above 4.0 g/kg in 90 days feeding test in rats.

**Key Words:** Animal Test; Natural Astaxanthin; 90 days Feeding Test

虾青素是类胡萝卜素的含氧衍生物,具有极强的抗氧化活性,能够有效地清除体内的活性氧<sup>[1]</sup>,具有保护血管,降低胆固醇,缓解关节疼痛等多方面营养保健作用,逐渐成为保健食品功能研究的热点<sup>[2-3]</sup>。这些保健食品可能被各年龄段人群长期服用,为评价天然虾青素的食用安全性,对天然虾青素进行了 90 d 喂养试验研究。

## 1 材料和方法

1.1 样品 天然虾青素由武汉某公司提供,样品为红色油状混悬液,人体日推荐量为 1.2 g。

1.2 动物 离乳 SD 大鼠,雌雄各 48 只,由河南省实验动物中心提供,合格证号 0009111,清洁级。

1.3 仪器与试剂 ADVIA1200 全自动生化分析仪,美国 Bayer 产; CD3700 血细胞分析仪,美国

Abbott 产; BT2202S 型电子天平,德国 Sartorius 产;生化试剂盒由上海科华-东菱诊断用品有限公司产,血细胞分析仪试剂美国 Abbott 原装进口。

1.4 实验方法<sup>[4]</sup> 按体重随机分为 4 组,每组 12 只。设 3 个剂量组,分别为人体推荐量的 50 倍、100 倍、200 倍,即 1.0 g/kg、2.0 g/kg、4.0 g/kg,另设一个对照组给予色拉油。连续灌胃 90 d。记录大鼠进食量、体重并观察中毒症状。于试验中期(第 45 d)和末期(第 90 d)取血进行血常规和各项生化指标测定,并进行大体解剖观察和组织病理学检查。

1.5 试验数据用 SPSS12.0 for Windows 软件进行分析。

## 2 结果

2.1 动物一般状况 试验期间动物的活动、摄食、饮水、排便等一般状况未见明显异常。

2.2 天然虾青素对大鼠体重、进食量和食物利用率的影响 雌、雄各剂量组动物体重和进食量随喂

作者简介:陈东方(1980-),男,硕士,主管医师,从事食品毒理学研究。

作者单位:河南省疾病预防控制中心卫生检测检验中心毒理室,河南郑州 450016。

表 1 天然虾青素对大鼠体重的影响 ( $\bar{x} \pm s, n=12$ )

| 性别 | 剂量(g/kg) | 初重(g)    | 第 4 周(g)   | 第 8 周(g)   | 第 12 周(g)  | 体重增重(g)    |
|----|----------|----------|------------|------------|------------|------------|
| 雌  | 对照       | 66.1±5.8 | 219.6±20.7 | 288.7±29.7 | 320.4±40.8 | 258.2±42.0 |
|    | 1.0      | 66.8±7.8 | 216.9±24.8 | 282.5±16.6 | 312.3±20.9 | 252.7±22.0 |
|    | 2.0      | 62.8±5.4 | 219.3±18.2 | 291.3±29.2 | 325.5±34.6 | 269.8±39.2 |
|    | 4.0      | 68.2±8.0 | 302.9±15.4 | 285.9±21.3 | 319.1±31.2 | 258.5±37.1 |
| 雄  | 对照       | 67.5±4.0 | 305.2±24.6 | 444.6±27.8 | 523.8±40.1 | 466.3±43.0 |
|    | 1.0      | 67.8±6.5 | 310.5±22.4 | 449.8±30.4 | 525.8±36.1 | 466.7±35.5 |
|    | 2.0      | 67.4±4.9 | 302.9±30.1 | 442.1±42.3 | 521.4±50.6 | 460.7±45.9 |
|    | 4.0      | 67.8±5.4 | 290.5±24.5 | 428.1±40.0 | 511.0±45.9 | 450.7±44.8 |

注:各剂量组与对照组比较  $P>0.05$ 表 2 天然虾青素对大鼠进食量和食物利用率的影响 ( $\bar{x} \pm s, n=12$ )

| 性别 | 剂量(g/kg) | 第 4 周(g)   | 第 8 周(g)   | 第 12 周(g)  | 总进食量(g)  | 第 4 周(%) | 第 8 周(%) | 第 12 周(%) | 总利用率(%)  |
|----|----------|------------|------------|------------|----------|----------|----------|-----------|----------|
| 雌  | 对照       | 118.8±13.2 | 138.1±24.6 | 144.2±18.4 | 1636±161 | 22.6±8.9 | 12.8±7.7 | 4.7±4.5   | 15.7±1.2 |
|    | 1.0      | 123.2±30.4 | 123.9±25.6 | 141.2±15.6 | 1613±142 | 21.4±7.9 | 10.4±4.8 | 2.6±3.5   | 15.7±1.6 |
|    | 2.0      | 126.7±18.2 | 129.5±10.4 | 145.8±18.3 | 1646±163 | 23.9±5.5 | 10.2±4.2 | 2.9±3.2   | 16.4±1.4 |
|    | 4.0      | 131.2±18.9 | 128.6±13.8 | 146.2±11.7 | 1666±150 | 19.2±5.2 | 9.0±4.5  | 3.5±3.2   | 15.5±1.9 |
| 雄  | 对照       | 178.2±25.8 | 156.5±20.6 | 171.0±22.3 | 2128±204 | 35.1±6.4 | 15.7±6.1 | 6.9±3.7   | 21.9±1.3 |
|    | 1.0      | 179.4±20.5 | 156.6±24.5 | 170.2±32.4 | 2085±214 | 37.4±4.0 | 18.3±6.0 | 5.8±2.2   | 22.5±1.8 |
|    | 2.0      | 171.9±19.8 | 171.2±37.6 | 179.0±23.6 | 2074±239 | 38.0±3.8 | 17.6±4.6 | 7.8±4.2   | 22.3±1.8 |
|    | 4.0      | 167.9±22.6 | 153.0±25.7 | 162.3±29.8 | 1990±265 | 35.1±6.4 | 18.1±6.0 | 10.4±3.6  | 22.8±2.3 |

注:各剂量组与对照组比较  $P>0.05$ 

养时间增加而增加,食物利用率随喂养时间增加而有所降低,其中雄性的食物利用率高于雌性。各剂量组与对照组比较差异无统计学意义( $P>0.05$ ),

说明天然虾青素在本试验条件下对动物的体重、进食量和食物利用率无明显影响。

### 2.3 血液学检查结果 见表 3。

表 3 天然虾青素对大鼠末期血常规的影响 ( $\bar{x} \pm s, n=12$ )

| 性别 | 剂量(g/kg) | Hb(g/L)    | RBC( $\times 10^{12}/L$ ) | WBC( $\times 10^9/L$ ) | PLT( $\times 10^9/L$ ) | NEU(%)   | LYM(%)   | MON(%)  | EOS(%)  | BAS(%)  |
|----|----------|------------|---------------------------|------------------------|------------------------|----------|----------|---------|---------|---------|
| 雌  | 对照       | 140.4±9.1  | 6.82±0.31                 | 9.6±1.4                | 896±122                | 22.2±3.6 | 65.9±3.5 | 5.3±1.0 | 2.8±0.3 | 3.8±0.3 |
|    | 1.0      | 138.2±10.7 | 6.64±0.34                 | 9.1±1.2                | 941±194                | 21.6±4.0 | 66.6±4.3 | 5.4±0.7 | 2.8±0.2 | 3.6±0.3 |
|    | 2.0      | 137.6±9.2  | 6.76±0.42                 | 8.6±1.7                | 952±157                | 23.0±3.9 | 64.8±4.2 | 5.7±1.0 | 3.0±0.2 | 3.6±0.4 |
|    | 4.0      | 138.9±9.1  | 6.80±0.40                 | 9.9±1.8                | 904±196                | 19.9±3.5 | 68.0±3.6 | 5.8±0.5 | 2.7±0.2 | 3.6±0.4 |
| 雄  | 对照       | 138.1±12.0 | 6.59±0.51                 | 9.2±1.2                | 840±165                | 20.9±3.7 | 67.1±3.9 | 5.6±0.8 | 2.8±0.2 | 3.7±0.3 |
|    | 1.0      | 140.9±9.1  | 6.80±0.41                 | 9.4±1.4                | 907±180                | 21.1±4.0 | 67.2±5.0 | 5.3±1.6 | 2.7±0.3 | 3.6±0.5 |
|    | 2.0      | 141.8±9.2  | 6.85±0.34                 | 9.7±1.3                | 819±158                | 19.8±3.3 | 68.4±3.5 | 5.8±1.5 | 2.7±0.3 | 3.4±0.3 |
|    | 4.0      | 138.6±8.2  | 6.74±0.28                 | 9.8±1.9                | 882±126                | 20.2±3.8 | 67.8±4.5 | 5.9±1.2 | 2.7±0.3 | 3.4±0.4 |

注:各剂量组与对照组比较  $P>0.05$

2.4 血清生化检验结果 见表 4。

表 4 天然虾青素对大鼠末期血清生化指标的影响 ( $\bar{x} \pm s, n=12$ )

| 性别 | 剂量(g/kg) | ALT(U/L)       | AST(U/L)         | Cr( $\mu$ mol/L) | TC(mmol/L)      | TG(mmol/L)      | TP(g/L)        | ALB(g/L)       | BUN(mmol/L)     | GLU(mmol/L)     |
|----|----------|----------------|------------------|------------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|
| 雌  | 对照       | 42.6 $\pm$ 6.0 | 184.7 $\pm$ 29.6 | 71.2 $\pm$ 7.3   | 2.28 $\pm$ 0.46 | 0.78 $\pm$ 0.11 | 74.5 $\pm$ 2.9 | 40.0 $\pm$ 1.8 | 7.80 $\pm$ 0.66 | 6.42 $\pm$ 0.46 |
|    | 1.0      | 41.6 $\pm$ 6.1 | 230.3 $\pm$ 71.0 | 72.2 $\pm$ 9.6   | 2.29 $\pm$ 0.34 | 0.88 $\pm$ 0.20 | 71.4 $\pm$ 5.1 | 37.9 $\pm$ 4.5 | 8.30 $\pm$ 0.74 | 6.58 $\pm$ 0.52 |
|    | 2.0      | 43.8 $\pm$ 4.8 | 205.8 $\pm$ 56.3 | 68.4 $\pm$ 16.7  | 2.23 $\pm$ 0.35 | 0.67 $\pm$ 0.11 | 72.2 $\pm$ 1.4 | 39.3 $\pm$ 2.4 | 8.17 $\pm$ 0.81 | 6.54 $\pm$ 0.48 |
|    | 4.0      | 42.3 $\pm$ 3.4 | 166.7 $\pm$ 42.2 | 72.8 $\pm$ 8.4   | 2.48 $\pm$ 0.36 | 0.66 $\pm$ 0.09 | 75.8 $\pm$ 3.7 | 39.6 $\pm$ 2.2 | 8.12 $\pm$ 1.02 | 6.62 $\pm$ 0.49 |
| 雄  | 对照       | 35.8 $\pm$ 5.7 | 183.4 $\pm$ 22.0 | 73.1 $\pm$ 8.5   | 1.83 $\pm$ 0.18 | 0.76 $\pm$ 0.24 | 69.7 $\pm$ 3.8 | 40.2 $\pm$ 1.3 | 8.39 $\pm$ 0.74 | 6.49 $\pm$ 0.33 |
|    | 1.0      | 36.9 $\pm$ 7.8 | 199.2 $\pm$ 26.7 | 69.7 $\pm$ 10.3  | 2.18 $\pm$ 0.59 | 0.81 $\pm$ 0.28 | 71.9 $\pm$ 5.5 | 39.7 $\pm$ 2.2 | 8.52 $\pm$ 0.66 | 6.38 $\pm$ 0.41 |
|    | 2.0      | 35.2 $\pm$ 9.6 | 180.6 $\pm$ 50.9 | 68.4 $\pm$ 10.6  | 2.11 $\pm$ 0.60 | 0.73 $\pm$ 0.20 | 71.6 $\pm$ 4.2 | 40.4 $\pm$ 2.3 | 8.30 $\pm$ 0.75 | 6.64 $\pm$ 0.36 |
|    | 4.0      | 37.5 $\pm$ 6.3 | 210.2 $\pm$ 54.6 | 69.4 $\pm$ 10.9  | 2.16 $\pm$ 0.37 | 0.66 $\pm$ 0.17 | 70.9 $\pm$ 2.7 | 39.1 $\pm$ 2.2 | 8.45 $\pm$ 0.61 | 6.60 $\pm$ 0.32 |

注:各剂量组与对照组比较  $P>0.05$

各剂量组动物的末期血液学和血清生化指标与对照组比较差异无统计学意义,说明天然虾青素

在本试验条件下对动物的血液学血清生化指标无明显影响,见表 5。

2.5 天然虾青素对脏器重量和脏器系数的影响

表 5 天然虾青素对大鼠脏器重量和脏器系数的影响 ( $\bar{x} \pm s, n=12$ )

| 性别 | 剂量(g/kg) | 空腹重(g)           | 肝重(g)           | 肾重(g)           | 脾重(g)           | 性腺重(g)          | 肝体比(%)          | 肾体比(%)          | 脾体比(%)          | 性腺体比(%)         |
|----|----------|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 雌  | 对照       | 296.8 $\pm$ 35.2 | 8.17 $\pm$ 0.95 | 2.14 $\pm$ 0.20 | 0.77 $\pm$ 0.12 | 0.16 $\pm$ 0.03 | 2.76 $\pm$ 0.18 | 0.72 $\pm$ 0.05 | 0.26 $\pm$ 0.03 | 0.05 $\pm$ 0.01 |
|    | 1.0      | 293.9 $\pm$ 18.6 | 8.45 $\pm$ 0.73 | 2.06 $\pm$ 0.21 | 0.74 $\pm$ 0.11 | 0.15 $\pm$ 0.02 | 2.87 $\pm$ 0.15 | 0.70 $\pm$ 0.04 | 0.25 $\pm$ 0.03 | 0.05 $\pm$ 0.01 |
|    | 2.0      | 306.0 $\pm$ 35.3 | 8.81 $\pm$ 1.01 | 2.25 $\pm$ 0.38 | 0.76 $\pm$ 0.12 | 0.16 $\pm$ 0.03 | 2.88 $\pm$ 0.10 | 0.73 $\pm$ 0.05 | 0.25 $\pm$ 0.03 | 0.05 $\pm$ 0.01 |
|    | 4.0      | 300.6 $\pm$ 31.3 | 8.61 $\pm$ 1.22 | 2.08 $\pm$ 0.24 | 0.80 $\pm$ 0.11 | 0.16 $\pm$ 0.03 | 2.86 $\pm$ 0.19 | 0.69 $\pm$ 0.04 | 0.27 $\pm$ 0.03 | 0.06 $\pm$ 0.01 |
| 雄  | 对照       | 491.1 $\pm$ 38.9 | 13.3 $\pm$ 1.5  | 3.44 $\pm$ 0.20 | 1.35 $\pm$ 0.18 | 3.98 $\pm$ 0.28 | 2.72 $\pm$ 0.34 | 0.70 $\pm$ 0.06 | 0.28 $\pm$ 0.04 | 0.82 $\pm$ 0.09 |
|    | 1.0      | 491.7 $\pm$ 33.7 | 14.2 $\pm$ 1.0  | 3.48 $\pm$ 0.31 | 1.43 $\pm$ 0.25 | 4.15 $\pm$ 0.28 | 2.88 $\pm$ 0.18 | 0.71 $\pm$ 0.05 | 0.29 $\pm$ 0.04 | 0.85 $\pm$ 0.06 |
|    | 2.0      | 485.9 $\pm$ 43.3 | 13.0 $\pm$ 1.8  | 3.48 $\pm$ 0.27 | 1.24 $\pm$ 0.22 | 4.07 $\pm$ 0.31 | 2.67 $\pm$ 0.24 | 0.72 $\pm$ 0.04 | 0.26 $\pm$ 0.04 | 0.84 $\pm$ 0.04 |
|    | 4.0      | 477.0 $\pm$ 40.0 | 13.2 $\pm$ 2.0  | 3.40 $\pm$ 0.36 | 1.24 $\pm$ 0.21 | 4.08 $\pm$ 0.37 | 2.76 $\pm$ 0.24 | 0.71 $\pm$ 0.05 | 0.26 $\pm$ 0.03 | 0.86 $\pm$ 0.06 |

注:各剂量组与对照组比较  $P>0.05$

各剂量组动物的脏器重量与脏器系数与对照组比较差异无显著意义,说明天然虾青素在本试验条件下对动物的脏器重量与脏器系数无明显影响。

2.6 病理组织学检查 各组动物剖检后肉眼观察各脏器颜色、形状、大小等均未见明显病变。切片镜检对照组 24 只大鼠中有 1 例动物肝脏汇管区和肾皮质部间质内均出现少量炎性细胞浸润,有 5 例动物肝脏汇管区有少量炎性细胞浸润;高剂量组 24 只大鼠中有 2 例动物肝脏汇管区和肾皮质部间质内均出现少量炎性细胞浸润,4 例动物肝脏汇管区有少量炎性细胞浸润;其它均未观察到明显病理改变。提示:受试物高剂量组动物肝、肾、胃肠、脾、卵

巢(睾丸)的检查结果未见与摄入样品有关的组织学病理改变。

3 讨论

天然虾青素具有强烈的抗氧化活性,被称为“超级维生素 E”。研究证明天然虾青素在人体中具有潜在的生理调节功效,由于这些独特的性质使它具有较高的应用价值和巨大的市场潜力。因此虾青素的毒性和生物安全性也受到了持续关注。本次研究显示,给予不同剂量天然虾青素 90 d,大鼠一般表现良好,生长发育正常。对体重、食物利用率均无明显影响,对大鼠肝功能、肾功能无明显

(下转 427 页)

$C_i$  值在 0~1 之间,越接近 1,评价对象越接近最优水平,表明工作综合质量越高。

表 3 细菌性痢疾监测点各项质控指标值与最优值的相对接近程度及排序结果

| 地区 | $D_1^+$ | $D_1^-$ | $C_i$  | 排序结果 |
|----|---------|---------|--------|------|
| 郑州 | 1.4248  | 0.4962  | 0.2583 | 3    |
| 睢县 | 0.1196  | 1.5466  | 0.9282 | 1    |
| 周口 | 1.4742  | 0.3240  | 0.1802 | 5    |
| 安阳 | 1.4738  | 0.3454  | 0.1899 | 4    |
| 中牟 | 1.3468  | 0.7877  | 0.3690 | 2    |

### 3 讨论

以往多采用评分法来进行综合评价,给出的分值和排序有较强的主观性,易受评分人员业务水平不同的影响,得出的评分结果往往不易于直接比较。为克服这一问题,不少学者在计划免疫工作质量综合评价中引入了描述性分析方法、功效系数法、topsis 法等<sup>[2-3]</sup>多种评价方法,对如何开展工作质量综合评价做出了有益的探索。其中 Topsis 法对评价对象无特殊要求,既不要求一定的分布,也不限制样本的含量,可用于小样本资料,也适用于多指标大系统;通过对原始数据的同趋势化和归一化处理,充分利用了原始数据信息进行了排序,使结果从定量的角度来反映不同的评价单元的优劣程度,具有直观,可靠的特点,避免了专家主观因素的偏颇,评价结果更为客观。

本文将 Topsis 法引入到监测点工作质量评价中来,对河南省 2010 年 5 个细菌性痢疾监测点工作质量进行了评价分析,结果清晰,效果较好。直观的反应了其工作质量的高低和在全省监测点中所处的位置。结果表明睢县工作质量位居第一位,中

牟工作质量较好。安阳、周口工作质量相对落后,与这两个监测点开设时间短、督导次数较少、省疾控中心经费支持较少等实际情况吻合。所有监测点整体排序状况也与我们平时督导检查结果的情况吻合。这说明 Topsis 法在评价监测点工作质量、整体排序上也有较高的准确性和实用性。

本文纳入的指标相对于整个细菌性痢疾监测工作来说仍偏较少,更多体现了对监测结果的质量控制,但对监测过程工作质量的评价指标纳入较少。这要求我们在今后的工作中深入思考,扩大质量控制指标的涵盖范围,选择更多指标纳入整个评价体系,使整个评价更准确、更全面客观的反映监测点的工作质量。本文采用的方法,未考虑各指标权重的大小,默认各参评指标同等重要,如果我们认为评价指标的权重不同,则可采用加权法<sup>[4]</sup>或属性 AHM 赋权法<sup>[5]</sup>等其他手段给各项指标以不同权重,再根据本文的计算步骤进行计算  $C_i$  值及排序。

参考文献:

- [1] 方积乾. 卫生统计学 [M]. 五版. 北京: 人民卫生出版社, 2007: 391-393.
- [2] 钟柳青. 应用 Topsis 法综合评价农村计划免疫工作 [J]. 广西预防学, 2004, 10(1): 44-46.
- [3] 马福宝, 刁连东, 吴扬生, 等. 功效系数法对计划免疫工作的综合评价 [J]. 中国计划免疫 [J]. 1997, 3(2): 233.
- [4] 于洋, 李一军. 基于多策略评价的绩效指标权重确定方法研究 [J]. 系统工程理论与实践, 2003, 8: 8-15.
- [5] 万方, 宋建平. 加权 Topsis 法在医院医疗质量综合评价中的应用 [J]. 中国医院统计, 2010, 17(4): 297-298.
- [6] 刘继斌, 曲成毅, 王瑞花. 基于属性 AHM 的 Topsis 综合评价及其应用 [J]. 现代预防医学, 2006, 33(10): 1862-1863.

(收稿日期: 2011-07-03)

(上接 425 页)

影响。组织病理学检查显示,除有少许常见自发病变外,肝脏、肾脏、脾脏、睾丸等主要器官,均未观察到与摄入样品有关的组织病理学改变。天然虾青素大鼠 90 d 喂养试验,最大未观察到有害作用剂量 (NOAEL) >4.0 g/kg。有研究报道,在虾青素含量高达 10.4~18.0 mg/g 的雨生红球藻粉的口服剂量下,雌、雄小鼠未发现死亡和异常现象。人体以每天 14.4 mg 虾青素的剂量服用雨生红球藻粉 2 周,无任何致病作用,并随着虾青素剂量的增加,血清中的 LDL 的氧化速率明显降低<sup>[6]</sup>。大量人体试验和动物试验已经证明它是一种非常安全的类胡萝卜素。由于有多种生物功效,天然虾青素在营养和

医药中的应用具有广阔的发展前景。

参考文献:

- [1] 陈晋明, 王世平, 马俪珍, 等. 虾青素抗氧化活性研究 [J]. 营养学报, 2007, 29(2): 163-165.
- [2] Jyonouchi H, Gross M. Antitumor activity of astaxanthin and its mode of action [J]. Nutr Cancer, 2000, 36: 59.
- [3] Guerin M, Huntley ME, Olaiola M. Haematococcus astaxanthin: applications for human health and nutrition [J]. Trends Biotechnol, 2003, 21(5): 210.
- [4] 卫生部卫生监督司. 保健食品检验与评价技术规范 (2003 年版) [J]. 北京, 2003.
- [5] 张晓丽, 刘建国. 虾青素的抗氧化性及其在营养和医药应用方面的研究 [J]. 食品科学, 2006, 27(1): 258-62.

(收稿日期: 2011-06-12)