

doi 10.3969/j.issn.1007-2861.2010.02.016

# 影响胡萝卜中滴滴涕及其代谢物生物有效性的因素

陆敏<sup>1</sup>, 余应新<sup>1</sup>, 张东平<sup>1</sup>, 韩姝媛<sup>1</sup>, 吴明红<sup>1</sup>,  
盛国英<sup>1,2</sup>, 傅家谟<sup>1,2</sup>

(1. 上海大学 环境与化学工程学院, 上海 200444)

2 中国科学院 广州地球化学研究所 有机地球化学国家重点实验室, 广州 510640)

**摘要:** 采用基于生理学的体外实验, 通过模拟人体的胃和小肠环境, 研究胃液 pH 值、胃肠中的主要消化酶对胡萝卜中滴滴涕及其代谢物(总称 DDTs)生物有效性的影响及 DDTs 在胃肠消化液和胡萝卜基质之间的分配. 结果表明: 胃液 pH 值对 DDTs 的生物有效性有较大影响, 在 pH 值为 2.15 时, 达到最大值; 在实验范围内, 胃蛋白酶、胆汁盐和胰酶的浓度增大对 DDTs 的生物有效性没有显著影响. *p, p'*-DDE, *p, p'*-DDD 和 *p, p'*-DDT 在胃和小肠中的生物有效性分别为 12.4%, 10.9%, 10.8% 和 34.2%, 29.1%, 32.3%. DDTs 在胃肠消化液和基质之间的分配表明, 在消化过程中 DDTs 在胃肠溶液中的浓度没有达到饱和状态, 在胃液和胡萝卜中的分配系数分别为 0.14, 0.14 和 0.13 在小肠液和胡萝卜中分别为 0.67, 0.54 和 0.66

**关键词:** 体外实验; 滴滴涕; 生物有效性; 胡萝卜; 胃肠道

中图分类号: X 132

文献标志码: A

文章编号: 1007-2861(2010)02-0189-07

## Factors Affecting Bioaccessibility of DDT and Its Metabolites in Carrot

LU Min<sup>1</sup>, YU Ying-xin<sup>1</sup>, ZHANG Dong-ping<sup>1</sup>, HAN Shu-yuan<sup>1</sup>,  
WU Ming-hong<sup>1</sup>, SHENG Guo-ying<sup>1,2</sup>, FU Jia-mo<sup>1,2</sup>

(1. School of Environmental and Chemical Engineering, Shanghai University, Shanghai 200444, China)

2. State Key Laboratory of Organic Geochemistry, Guangzhou Institute of Geochemistry,  
Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China)

**Abstract** A physiologically based *in vitro* test was performed by simulating human gastrointestinal tract to determine the effect of pH value and main digestive enzymes on the bioaccessibility of DDT and its metabolites (DDTs) in carrot. Distribution of DDTs between digestive juice and matrix was also studied. The results show that pH of gastric juice has a great impact on bioaccessibility of DDTs, with the maximum at the pH value of 2.15. In contrast, within the range of experimental concentrations, increasing the concentrations of pepsin, bile and pancreatin has no significant effect on bioaccessibility of DDTs. In the test, bioaccessibility of *p, p'*-DDE, *p, p'*-DDD, and *p, p'*-DDT were 12.4%, 10.9%, and 10.8% in stomach and 34.2%, 29.1%, and 32.3% in intestinal, respectively. Distribution of DDTs between digestive juice and matrix indicates that DDTs in the digestive solution did not reach saturation during

收稿日期: 2008-08-27

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973计划)资助项目(2008CB418205); 上海高校优秀青年教师后备人选资助项目

通信作者: 余应新(1976~), 男, 副研究员, 研究方向为环境污染与健康. E-mail: yuyingxin@staff.shu.edu.cn

digestion processes. Partition coefficients between the digestive solution and digested carrot were 0.14, 0.14 and 0.13 in gastric solution and 0.67, 0.54 and 0.66 in intestinal solution, respectively.

**Key words** *in vitro* test; DDTs; bioaccessibility; carrot; gastrointestinal tract

食品中污染物的生物有效性是人体暴露和健康风险评估的重要因子<sup>[1]</sup>, 然而目前的评估往往较少考虑这一因子. 由于污染物对人体的生物有效性小于 100%, 或在人体肠道 P450 酶或微生物作用下代谢为高毒性、高生物富集性的化合物, 因而对人体的风险往往会被高估或低估. 近年来, 通过基于生理学原理模拟人体消化道系统(主要为胃和小肠), 对污染物的生物有效性进行评估的体外 (*in vitro*) 研究在国外受到相当重视. 目前, 对于土壤中重金属、有机污染物的生物有效性研究已有大量报道<sup>[2-3]</sup>, 食品中胡萝卜素、金属等营养物质的生物有效性也是研究热点之一<sup>[4-7]</sup>, 而对于食品中有机污染物的生物有效性研究相对较少<sup>[1, 8-10]</sup>.

有机氯农药滴滴涕 (DDT) 是环境中具有典型性、持久性的有机污染物 (POPs), 由于其毒性大、难降解、易于在生物体内富集等特性, 成为世界各国重点控制的污染物<sup>[11]</sup>. 我国也曾是有机氯农药施用量最多的国家之一, 并于 1983 年开始禁止生产和使用 DDT 等有机氯农药. DDT 虽然被禁用了 20 年, 但由于其化学稳定性高, 这类农药并没有在环境中完全消失, 仍然可以在土壤、水体、沉积物中被大量检测出来. 同时, 最新的研究表明, 亚洲一些发展中国家有机氯类农药浓度有升高趋势<sup>[12-13]</sup>. DDT 是生产三氯杀螨醇的中间体, 1995—2002 年, 我国三氯杀螨醇的年产量约 3 000 t. 一般工艺要求 DDT 含量必须小于 0.5%, 而实际产品中, DDT 的含量有的高达 15%<sup>[14]</sup>.

本工作以 DDT 及其代谢物 (总称 DDTs) 为研究对象, 采用人工污染的胡萝卜, 应用静态人体肠道微生物生态系统法<sup>[10]</sup>, 分析影响 DDTs 生物有效性的因素. 由于体外模型中胃和小肠的 pH 值、酶、胆盐、食物组成及停留时间等都可能对生物有效性产生影响<sup>[15]</sup>, 所以本工作在前期研究的基础上研究了胃液 pH 值及胃和小肠中的主要酶对其生物有效性的影响.

## 1 实验部分

### 1.1 实验试剂和材料

DDTs 标准物质  $p$ ,  $p'$ -DDT,  $p$ ,  $p'$ -DDD 和  $p$ ,  $p'$ -

DDE, 内标 5-氯硝基苯 (PCNB) 和回收率指示物十氯联苯 (PCB209) 均购自美国 Supelco 公司; 木聚糖、(+)-阿拉伯半乳糖和胶质购自美国 Fluka 公司; 淀粉、D-(+)-葡萄糖、粘蛋白和胆粉购自美国 Sigma 公司; 蛋白胨、胃蛋白酶、胰酶和酵母粉购自德国 Merck 公司; 硅胶 (80~100 目) 购自青岛海洋化工有限公司; 其他试剂与材料均购自上海国药集团化学试剂有限公司. 分析纯级的溶剂经全玻璃系统重蒸后使用. 硅胶和中性氧化铝 (100~200 目) 用二氯甲烷索氏抽提 72 h 干燥, 分别于 180 °C, 250 °C 活化 12 h 后加入 3% 去离子水, 振荡摇匀, 干燥器内平衡过夜后于正己烷中保存. 纯水由美国 Millipore 公司 Elx 系统制备, 无菌水采用纯水 121 °C 高温灭菌 15 min.

### 1.2 样品准备

将从上海某市场购买的胡萝卜纯水洗净, 用搅拌机搅碎后冷冻干燥恒重, 碾磨成粉后过 80 目筛. 选择本底浓度较低的胡萝卜粉人为添加一定量溶于二氯甲烷的 DDTs, 使其在胡萝卜中的浓度为 200, 600, 1 800, 2 500 和 4 500 ng/g. 通风橱内风干后冷冻干燥, 制备成 DDTs 污染的胡萝卜样品避光保存备用.

### 1.3 体外实验及处理

体外实验方法如文献 [10] 所述, 于 0.24 g 胡萝卜粉中加入 12 mL 胃液 (组成见表 1, pH = 3.0 ± 0.1), 顶空吹入氮气创造无氧环境. 该混合液以 60 r/min 在 37 °C 下避光垂直混合消化 1 h 完成胃阶段模拟. 小肠阶段消化的模拟是在胃消化完成后, 加入 6 mL 的胆汁和胰液 (组成见表 1), 此时混合液的 pH 值为 7.0 ± 0.1, 高纯氮气除氧后, 再在 37 °C 条件下避光消化 4 h 后处理过程如下: 将胃和小肠消化后的悬浮液以 7 000g 离心 10 min, 将得到的上清液和下颗粒物 (用于分配比研究) 分别进行分析; 取 10 mL 上清液并向其中加入一定量的回收率指示物 (PCB209), 向其中加入 20 mL 丙酮, 充分振荡后加入 40 mL 混合液 ( $V(\text{正己烷}):V(\text{二氯甲烷}) = 1:3$ ) 萃取, 再用 10 mL 丙酮, 充分振荡后加入 20 mL 混合液 ( $V(\text{正己烷}):V(\text{二氯甲烷}) = 1:3$ ) 萃取 2 次; 萃取液浓缩到 0.5 mL 后加入 30 mL 正己烷进行溶剂

转换, 再加 10 mL 浓  $H_2SO_4$  净化; 静置过夜, 去  $H_2SO_4$  后用水洗, 浓缩到 1 mL 采用硅胶: 氧化铝: 无水硫酸钠 (12 cm: 6 cm: 1 cm) 层析柱分离纯化; 分别用 20 mL 正己烷和 60 mL 混合液 ( $V$ (正己烷):  $V$ (二氯甲烷) = 1: 1) 淋洗, 第二个组分浓缩到 0.5

mL 后转移到 2 mL 的样品瓶, 用微弱的氮气流吹干后加内标 (PCNB) 定容待分析. 离心后的颗粒物水洗后加 10 mL 去离子水, 混合均匀后用固-液萃取法萃取, 后处理过程同上.

表 1 模拟液组成和含量

Table 1 Compositions and concentrations of simulating gastrointestinal solution

	组成	浓度 / ( $g \cdot L^{-1}$ )
食物液 <sup>a</sup>	阿拉伯半乳糖 (Arabinogalactan from birch wood)	1.0
	胶质 (Pectin from apples)	2.0
	木聚糖 (Xylan from birch wood)	1.0
	土豆淀粉 (Potato starch)	3.0
	葡萄糖 (D-(+)-Glucose, SigmaUltra, 99.5% GC)	0.4
	酵母粉 (Yeast extract)	3.0
	蛋白胨 (Peptone from poultry)	1.0
	粘蛋白 (Mucin from porcine stomach Type II)	4.0
	L-半胱氨酸 (L-Cysteine)	0.5
胃酸	胃蛋白酶 (Pepsin from porcine gastric mucosa)	0.0889
	盐酸 (HCl) <sup>b</sup>	0.1 <sup>c</sup>
胃液	$V$ (食物液): $V$ (胃酸液) = 8: 1	
胆汁和胰液 <sup>b</sup>	碳酸氢钠 ( $NaHCO_3$ )	12.5
	胆汁盐 (Bile bovine)	6.0
	胰酶 (Pancreatin from porcine pancreas 350 FIP-U $g^{-1}$ (activated) protease, 6 000 FIP-U $g^{-1}$ lipase, 7 500 FIP-U $g^{-1}$ amylase)	0.9

注: <sup>a</sup> 121 °C 高温灭菌 15 min; <sup>b</sup> 用 1 L 无菌水配制; <sup>c</sup> 单位为 mol/L

#### 1.4 DDTs 的测定

DDTs 的测定在 Agilent 6890N ECD <sup>63</sup>Ni 气相色谱仪上进行; 色谱柱: DB-5MS 柱 (30 m × 0.32 mm × 0.25 μm); 进样口温度: 220 °C; 检测器温度: 315 °C; 程序升温: 100 °C (1 min), 4 °C/min 升温至 290 °C (10 min); 不分流进样 1 μL; 载气: 高纯氮气; 柱流速: 1 mL/min 内标法定量.

根据文献 [10-16], 污染物在人体胃肠环境条件下的生物有效性为

$$B_a = \frac{m_r}{m_t} \times 100\%, \quad (1)$$

式中,  $B_a$  为化合物  $x$  在胃肠环境下的生物有效性,  $m_r$  为化合物  $x$  从基质中释放到溶液中的质量,  $m_t$  为  $x$  的总质量.

#### 1.5 质量保证与质量控制 (QA/QC)

在进行样品分析测定过程中, 每个样品都要添加回收率指示物, 以控制整个分析流程的回收率. 每个样品进行 3~4 个平行样品分析, 平行样品的相对标准偏差小于 10%. 每个工作日都要用 DDT 降解标样检查 GC 进样口是否引起 DDT 降解, 当降解率小

于 15% 时, 仪器方能用于样品的测定. 样品定量分析采用 5 种浓度混合标样, 用内标法建立工作曲线. 每个工作日测定样品前, 采用已知浓度的标准溶液检测已经建立的工作曲线是否可用, 测定值与已知值之差必须在 20% 以内, 否则重新建立工作曲线.

## 2 结果与讨论

### 2.1 pH 值的影响

由于个体差别及是否受饮食 (饱腹及空腹) 的影响, 胃肠道系统尤其是胃中的 pH 值变化很大, 可以由空腹状态的 1.0 左右最高上升到饱腹状态的 6.0 左右, 而小肠中的 pH 值在胆汁、胰液及小肠液的作用下变化很小, 基本维持在中性左右, 不受食物的影响 [17]. 在体外实验中, 胃环境中的 pH 值通常采用 1.0~4.0 [15]. 本研究在该范围内, 采用 6 种不同的 pH 值 (1.29, 1.50, 1.76, 2.15, 2.98 和 3.57) 进行研究, 结果如图 1 所示. pH 值对于 DDTs 释放在较大影响. DDTs 的生物有效性随着 pH 值的增大, 呈明显上升趋势; 在 pH 值为 2.15 时, 达到最大

值;之后随着 pH 值的增大略有下降. 由于胃蛋白酶只有在强酸性条件下有较高的催化活性, 随着 pH 值的升高而下降, 当 pH 值大于 6.0 时, 发生不可逆变性而失活, 胃蛋白酶最适宜的 pH 值为 2.0~3.5<sup>[18]</sup>. 从结果可以看到, 生物有效性的最高点出现在胃蛋白酶最适宜的 pH 值区间, 说明了胃蛋白酶活性对 DDTs 生物有效性有很大的影响.

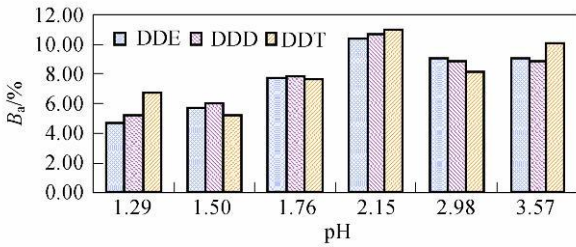


图 1 pH 值对 DDTs 生物有效性的影响

Fig 1 Effect of pH on the bioaccessibility of DDTs

## 2.2 胃蛋白酶的影响

胃蛋白酶是由胃腺细胞分泌的一种能消化蛋白质的酶, 是胃液中主要的消化酶. 本工作研究了消化液 pH 值及总体积恒定时, 胃蛋白酶浓度对胡萝卜中 DDTs 生物有效性的影响, 结果如图 2 所示. 当胃蛋白酶浓度由 0.09 g/L 增大至 0.20 g/L 时, DDTs 的生物有效性呈不同程度的增长, 约 1.5~2.0 倍; 而在 0.2~4.0 g/L 的浓度范围内, 则基本不变. 该结果与 Kulp 等<sup>[19]</sup>模拟人体胃肠环境研究烤肉中杂环胺的生物有效性不受胃蛋白酶浓度影响的结果一致. 据报道, 溶液表面张力对有机污染物的溶解度有相当大的影响, 表面张力的减小会增大有机物在溶液中的溶解度<sup>[16]</sup>. 由于胃蛋白酶仅能轻微地降低消化液的表面张力<sup>[20]</sup>, 因而随着其浓度的增大, DDTs 的溶解度不会有太大的影响, 研究结果与理论推测一致.

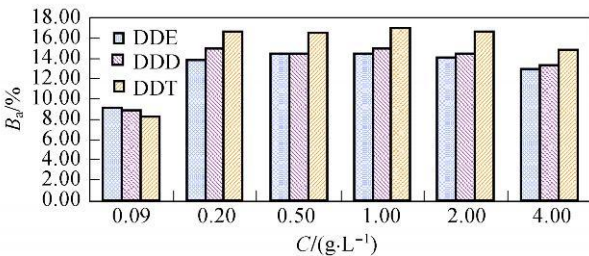


图 2 胃蛋白酶对 DDTs 生物有效性的影响

Fig 2 Effect of pepsin on the bioaccessibility of DDTs

## 2.3 胰酶的影响

胰酶是小肠环境中的主要酶类之一, 是蛋白酶、

淀粉酶、脂肪酶的混合物<sup>[21]</sup>. 在胆汁和胰液中, 加入不同量的胰酶, 使得胰酶最终浓度介于 0.1~6.0 g/L, 结果如图 3 所示. 在实验浓度范围内, 经消化后  $p$ 、 $p'$ -DDE,  $p$ 、 $p'$ -DDD,  $p$ 、 $p'$ -DDT 的生物有效性分别在 23.8%~37.8%, 21.9%~38.2% 和 27.8%~43.9% 之间 (在小肠中的生物有效性包含从胃环境中释放部分, 后文也相同). 与胃蛋白酶结果相似, 胰酶浓度的变化对 DDTs 生物有效性影响较小. 据报道, 胰酶与胃蛋白酶类似, 仅能轻微地降低消化液的表面张力, 因而不能显著增强污染物的生物有效性<sup>[20]</sup>. 本研究中, DDTs 的生物有效性最高值出现在胰酶浓度为 0.1 g/L, 这可能是由于当胰酶浓度相对较低时, 胆汁具有较高的表面活性能力, 对于其他的活性物质会产生一定的抑制作用. 据报道, 当胆汁浓度一定时, 在较低浓度的胰酶中, 由于胆汁对胰酶活性的抑制, 使得胆汁在  $\beta$ -胡萝卜素胶束形成过程 (micellisation) 中起到的作用更大 (即对其生物有效性的影响更大)<sup>[22]</sup>.

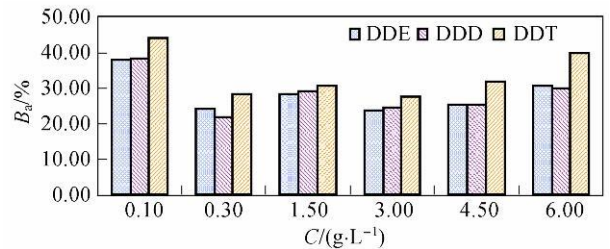


图 3 胰酶对 DDTs 生物有效性的影响

Fig 3 Effect of pancreatin on the bioaccessibility of DDTs

## 2.4 胆汁的影响

胆汁是由肝细胞分泌的一种外分泌液, 和胰液、肠液一起对小肠内的食糜进行化学性消化. 胆汁成分复杂, 除水外, 还有胆色素、胆盐、胆固醇、脂肪酸、卵磷脂及血浆中所有的无机盐等. 本研究考察了消化液中胆汁浓度在 0.5~5.0 g/L 范围内对胡萝卜中 DDTs 的生物有效性的影响, 研究结果如图 4 所示. 在该范围内,  $p$ 、 $p'$ -DDE,  $p$ 、 $p'$ -DDD,  $p$ 、 $p'$ -DDT 的生物有效性分别在 32.9%~38.8%, 29.1%~41.1% 和 28.2%~40.3% 之间, 增大胆汁的浓度对小肠环境下胡萝卜中 DDTs 的生物有效性影响不大. 当胆汁浓度介于 0.5~2.0 g/L 时, 除  $p$ 、 $p'$ -DDD 在胆汁浓度 2.0 g/L 时生物有效性偏小外, DDTs 生物有效性无明显变化; 当浓度增大至 3.0 g/L 时, 生物有效性略有增大, 但无明显趋势. 据文献报道, 与胃

蛋白酶和胰酶不同, 胆汁浓度增大会导致消化液表面张力明显减小, 从而促进有机污染物的释放<sup>[23]</sup>; 当胆汁浓度大于其临界胶体浓度 0.15 g/L 时, 消化液表面活性基本不变<sup>[20]</sup>. 本实验中胆汁浓度均大于该临界浓度, 从理论上说, 在实验浓度范围内, 胆汁的浓度变化对 DDTs 的生物有效性影响不大, 本实验结果与理论结果相符. 但是与胃中的情况比较, DDTs 在小肠中的生物有效性远远高于胃中, 这表明胆汁的加入对其生物有效性具有很大的影响. 许多研究表明, 模拟液中有无胆汁, 对于生物有效性影响很大, 一般不添加胆汁时, 生物有效性均较小<sup>[24]</sup>.

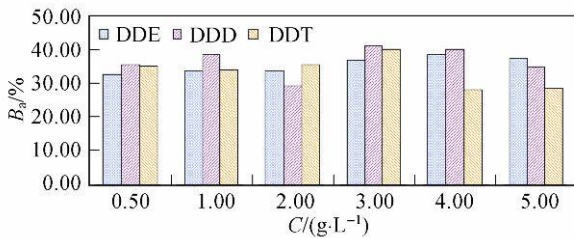


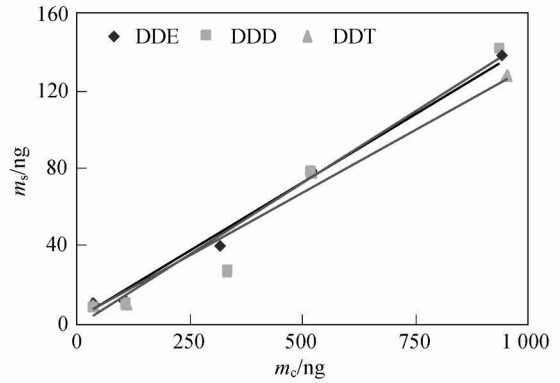
图 4 胆汁对 DDTs 生物有效性的影响

Fig 4 Effect of bile on the bioaccessibility of DDTs

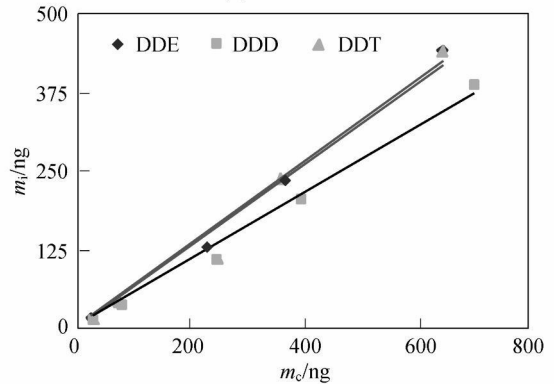
### 2.5 DDTs 在两相中的分配

在人体中, 污染物在胃肠系统中从食物基质释放到溶液中, 形成可以被小肠吸收的状态, 然后被小肠吸收, 该过程为一动态过程. 如果污染物的释放过程大于吸收过程, 则一定时间后, 肠液中污染物的浓度达到饱和, 反之则处于不饱和状态. 然而, 体外实验都是一个静态过程, 本研究采用 0.24 g 的胡萝卜, 以 200, 600, 1800, 2500 和 4500 ng/g 浓度的 DDTs 对其在食物基质及肠液两相中的分配进行了研究, 该浓度远远高于环境浓度. 如果在肠液中 DDTs 达到饱和状态, 则在增大 DDTs 浓度时, 其生物有效性将会降低, DDTs 在肠液与基质中的分配比将减小. 研究结果采用式 (1) 可计算得到 DDTs 在胃和小肠中  $p, p'$ -DDE,  $p, p'$ -DDD,  $p, p'$ -DDT 的平均生物有效性分别为 (12.4 ± 3.0)%, (10.9 ± 3.3)%, (10.8 ± 3.5)% 和 (34.2 ± 6.7)%, (29.1 ± 6.2)%, (32.3 ± 8.8)%. 以胃肠液中 DDTs 的质量对胡萝卜基质中 DDTs 的质量作图, 可以得到 DDTs 在两相中的分配曲线, 结果如图 5 所示. 图中,  $m_c$  为胡萝卜基质中 DDTs 的质量,  $m_s$  为胃液中 DDTs 的质量,  $m_i$  为肠液中 DDTs 的质量. 对其采用线性拟合, 得到 DDTs 在胃和小肠中线性方程的相关系数均高于 0.95. 这说明 DDTs 在胃液和肠液中均没有

达到饱和, 并且可以用直线分配模型对 DDTs 的分布进行描述. 该研究与 Oamen 研究 PCBs 在胃肠液与土壤基质中的分配状况类似<sup>[25]</sup>. 从表 2 可以看出,  $p, p'$ -DDE,  $p, p'$ -DDD 和  $p, p'$ -DDT 在胃液和胡萝卜中的分配系数分别为 0.14, 0.14 和 0.13, 在小肠液和胡萝卜中分别为 0.67, 0.54 和 0.66.



(a) 胃液中曲线



(b) 肠液中曲线

图 5 胃肠液中 DDTs 的质量与胡萝卜基质中 DDTs 的质量关系

Fig 5 Relationships between the mass of DDTs in gastrointestinal solution and carrot matrix

表 2 DDTs 在胃肠液与胡萝卜中的分配

Table 2 Distribution of DDTs between gastrointestinal solution and carrot

化合物	胃		小肠	
	拟合直线方程	相关系数 $R^2$	拟合直线方程	相关系数 $R^2$
$p, p'$ -DDE	$y = 0.1441x$	0.9912	$y = 0.6677x$	0.9901
$p, p'$ -DDD	$y = 0.1424x$	0.9545	$y = 0.5397x$	0.9900
$p, p'$ -DDT	$y = 0.1314x$	0.9600	$y = 0.6582x$	0.9694

### 3 结束语

本工作采用体外实验研究了胃液 pH 值、胃肠

中的主要消化酶对胡萝卜中 DDTs 生物有效性的影响及 DDTs 在胃肠消化液和胡萝卜基质之间的分配。结果表明, pH 值的变化对 DDTs 的生物有效性有较大影响, pH 值升高, 其生物有效性增大。在本实验浓度范围内, 胃蛋白酶、胆汁和胰酶浓度的改变对 DDTs 的生物有效性影响较小, 但有没有加胆汁对其生物有效性影响很大。DDTs 在胃肠消化液和基质之间的分配表明, DDTs 在胃肠溶液中的浓度在消化过程中没有达到饱和状态。

#### 参考文献:

- [1] XING G H, YANG Y, CHAN J K Y, et al Bioaccessibility of polychlorinated biphenyls in different foods using an in vitro digestion method [J]. *Environmental Pollution*, 2008, 156(3): 1218-1226
- [2] MADRID F, BIASOLI M, AMONE-MARSAN F. Availability and bioaccessibility of metals in fine particles of some urban soils [J]. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 2008, 55: 21-32
- [3] PU X, LEE L S, GALINSKY R E, et al Bioavailability of 2,3,4,5-pentachlorobiphenyl (PCB118) and 2,2',5,5'-tetrachlorobiphenyl (PCB52) from soils using a rat model and a physiologically based extraction test [J]. *Toxicology*, 2006, 217: 14-21
- [4] GOÑI J, SERRANO J, SAURA-CALIXTO F. Bioaccessibility of  $\beta$ -carotene, lutein and lycopene from fruits and vegetables [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2006, 54: 5382-5387
- [5] GRANADO-LORENCIO F, OIMEDILLA-ALONSO B, HERRERO-BARBUDO C, et al Comparative in vitro bioaccessibility of carotenoids from relevant contributors to carotenoid intake [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2007, 55: 6387-6394
- [6] REBOUL E, RICHELLE M, PERROT E, et al Bioaccessibility of carotenoids and vitamin E from their main dietary sources [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2006, 54: 8749-8755
- [7] ORNELAS-PAZ J D J, FALIA M L, YAHIA E M, et al Impact of the stage of ripening and dietary fat on in vitro bioaccessibility of carotene in 'Ataulfo' mango [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2008, 56: 1511-1516
- [8] AMIARD J C, AMIARD-TRIQUET C, CHARBONNIER L, et al Bioaccessibility of essential and non-essential metals in commercial shellfish from western Europe and Asia [J]. *Food and Chemical Toxicology*, 2008, 46: 2020-2022
- [9] VITALI D, DRAGOJEVIĆ I V, ŠEBEČIĆ B. Bioaccessibility of Ca, Mg, Mn and Cu from whole grain tea-biscuits: impact of proteins, phytic acid and polyphenols [J]. *Food Chemistry*, 2008, 110: 62-58
- [10] YU Y X, LU M, JIA W L, et al Carbon isotope effects of DDTs in carrot during the digestion process using an in vitro test [J]. *Rapid Communications in Mass Spectrometry*, 2008, 22: 2803-2808
- [11] NAKATA H, NASU T, ABE S I, et al Organochlorine contaminants in human adipose tissues from China: mass balance approach for estimating historical Chinese exposure to DDTs [J]. *Environmental Science and Technology*, 2005, 39: 4714-4720
- [12] QIU X H, ZHU T, YAO B, et al Contribution of diet to the current DDT pollution in China [J]. *Environmental Science and Technology*, 2005, 39: 4385-4390
- [13] MONIRITH J, UENO D, TAKAHASHI S, et al Asia-Pacific mussel watch monitoring contamination of persistent organochlorine compounds in coastal waters of Asian countries [J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2003, 46: 281-300
- [14] 郜红建, 蒋新. 有机氯农药在南京市郊蔬菜中的生物富集与质量安全 [J]. *环境科学学报*, 2005, 25(1): 90-93
- [15] DEAN J R, MA R. Approaches to assess the oral bioaccessibility of persistent organic pollutants: a critical review [J]. *Chemosphere*, 2007, 68: 1399-1407
- [16] OOMEN A G, ROMPELBERG C J M, VAN DE KAMP E, et al Effect of bile type on the bioaccessibility of soil contaminants in an in vitro digestion model [J]. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 2004, 46: 183-188
- [17] TANDY S W, WILLIAMS M, LEGGETT A, et al N-ramp2 expression is associated with pH-dependent iron uptake across the apical membrane of human intestinal Caco-2 cells [J]. *Journal of Biological Chemistry*, 2000, 275: 1023-1029
- [18] 侯水生, 黄苇. 仔猪日粮酸化机制及其应用 [J]. *中国饲料*, 1998(10): 55-58
- [19] KULP K S, FORSTON S L, KNIZE M G, et al An in vitro model system to predict the bioaccessibility of heterocyclic amines from a cooked meat matrix [J]. *Food and Chemical Toxicology*, 2003, 41: 1701-1710
- [20] TANG X Y, TANG L, ZHU Y G, et al Assessment of



- the bioaccessibility of polycyclic aromatic hydrocarbons in soils from Beijing using an in vitro test [ J]. *Environmental Pollution*, 2006, 140: 279-285.
- [ 21] NTAWONGSE M, DEAN J R. In-vitro testing for assessing oral bioaccessibility of trace metals in soil and food samples [ J]. *Trends in Analytical Chemistry*, 2006, 25(9): 876-886
- [ 22] WRIGHT A J, PETRANGELO C, MACNAUGHTON A. Influence of simulated upper intestinal parameters on the efficiency of beta carotene micellisation using an in vitro model of digestion [ J]. *Food Chemistry*, 2008, 107: 1253-1260
- [ 23] OOMEN A G, ROMPELBERG C JM, BRULM A, et al. Development of an in vitro digestion model for estimation of bioaccessibility of soil contaminants [ J]. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 2003, 44: 281-287
- [ 24] HEDREN E, DIAZ V, SVANBERG U. Estimation of carotenoid accessibility from carrots determined by an in vitro digestion method [ J]. *European Journal of Clinical Nutrition*, 2002, 56( 5): 425-430
- [ 25] OOMEN A G, SIPS A J A M, GROTEN J P, et al. Mobilization of PCBs and Lindane from soil during in vitro digestion and their distribution among bile salt micelles and proteins of human digestive fluid and the soil [ J]. *Environmental Science and Technology*, 2000, 34: 297-303

(编辑: 刘志强)

• 简讯 •

## 芬兰 VTT 技术研究中心代表来访

在上海市科委国际合作处、上海市纳米科技与产业发展促进中心及芬兰国家技术创新局的大力推动下, 上海大学与芬兰 VTT 技术研究所的合作取得实质性进展. 2010 年 2 月 19 日, 芬兰 VTT 技术研究所应用材料研究中心副院长 Anne Ritschkoff 教授、技术经理 Erja Tuuninen 博士来上海大学讨论具体合作事宜.

上海大学科技处处长兼纳米科学与技术研究中心副主任施利毅教授主持讨论会, 上海市纳米科技与产业发展促进中心费立诚副主任参与了交流活动. 双方介绍了各自在新材料领域的研究重点与优势, 经过一天的交流与讨论, 确定了下一阶段合作研究的课题, 制定了初步工作计划并签署了合作备忘录. 此次交流活动是继 2009 年 10 月 23 日, 由芬兰国家技术创新局牵头, 来自芬兰 VTT 技术研究所、赫尔辛基理工大学、贝耐克公司等知名科研机构 and 企业的芬兰纳米科技代表团一行来访之后, 芬兰材料科技专家第二次访问上海大学.

芬兰 VTT 技术研究所成立于 1942 年, 有 2 700 多名员工, 是北欧最大的多学科应用研究机构. 此次与 VTT 技术研究所应用材料研究中心的科研合作是上海大学加强国际化, 积极推动产学研结合和科技成果转化的一重要进展.

(科技处)