# 邻苯二甲酸二丁酯在加工中的变化及膳食暴露评估

冉咏兰,阚建全 (西南大学 食品科学学院,重庆 400715)

摘要:目的 选取萝卜为研究对象,研究食用加工对萝卜中邻苯二甲酸二丁酯(DBP)残留量及膳食暴露评估的影响。方法 采用盆栽种植、模拟餐前加工和液相色谱检测方法,研究漂烫、腌制和干制处理对萝卜中 DBP 残留及膳食暴露的影响。结果 经漂烫、腌制和干制处理后均会对 DBP 残留量有明显的影响,溶度参数、水分散失和 DBP 挥发是影响萝卜中 DBP 含量的 3 个关键因子。在漂烫加工中,DBP 残留量和加工因子随着时间的增加都呈逐渐减小的趋势,消除率为 0.96%~45.54%; 在腌制加工中,DBP 残留量和加工因子随着时间的增加呈先减小后逐渐增加的趋势,消除率为 1.36%~44.74%; 在干制加工中,DBP 残留量和加工因子随着时间的增加呈先增加后逐渐减小的趋势,考虑到干制加工中水分会流失,通过校正含水量后消除率可达 82.06%。对 DBP 残留量进行膳食暴露评估的结果表明,对采用漂烫、腌制和干制等 3 种加工方式加工后的 DBP 残留量比用初始值评估值最高可分别降低 45.54%,44.73%和 24.32%。结论 适当的食用加工方式可以有效降低萝卜中 DBP 的残留量,提高萝卜食用的安全性,而引入加工因子后膳食暴露评估结果会更接近真实值。

关键词:邻苯二甲酸二丁酯;萝卜;消除率;残留量;暴露评估

中图分类号: S631.1 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2020)13-0017-09

**DOI:** 10.19554/j.cnki.1001-3563.2020.13.003

## Changes of Dibutyl Phthalate in Processing and Evaluation of Its Dietary Exposure Assessment

RAN Yong-lan, KAN Jian-quan

(College of Food Science, Southwest University, Chongqing 400715, China)

ABSTRACT: The wok aims to study the effect of pre-meal processing on dibutyl phthalate (DBP) residues and dietary exposure assessment in radish. Pot planting, simulated pre-meal processing and liquid chromatography were used to study the effects of blanching, curing and drying treatments on DBP residues and dietary exposure in radish. Blanching, curing and drying all had obvious effects on DBP residues. Solubility parameters, water loss and DBP volatilization were the three key factors affecting DBP content in radish. In blanching process, DBP residue and processing factor gradually decreased with the increase of time, and the removalrate was 0.96%-45.54%. DBP residues and processing factors decreased first and then gradually increased with the increase of time in curing process, with removalrate ranging from 1.36% to 44.74%. DBP residues and processing factors in drying process first increased and then gradually decreased with the increase of time. Considering the water loss in drying process, the removalrate couldreach 82.06% after the water content was corrected. The results of dietary exposure assessment on DBP residues showed that the DBP residues

收稿日期: 2020-01-05

作者简介: 冉咏兰 (1986—), 女, 西南大学博士研究生, 主要研究方向为食品化学与营养学。通信作者: 阚建全 (1965—), 男,博士,西南大学教授,主要研究方向为食品化学与营养学。

processed by blanching, curing and drying could be reduced by 45.54%, 44.73% and 24.32%, respectively compared with the initial value assessment. Appropriate food processing methods can effectively reduce DBP residues in radish and improve the food safety of radish, while the assessmentresults of dietary exposure will be closer to the true value after processing factors are introduced.

KEY WORDS: dibutyl phthalate; radish; removal rate; residual quantity; exposure assessment

邻苯二甲酸酯类化合物 (Phthalic Acid Easters, PAEs)作为塑料的改性添加剂,在增塑剂市场中占据 主导地位。由于 PAEs 在环境中具有性质稳定、半衰 期长、生物蓄积毒性较强等特性,将会给人体及环境 带来极大危害[1]。美国国家环保局(EPA)已将邻苯 二甲酸二丁酯(DBP)、邻苯二甲酸丁基苄基酯 (BBP)、邻苯二甲酸二(2-乙基己基)酯(DEHP) 邻苯二甲酸二甲酯(DMP)、邻苯二甲酸正二辛酯 (DnOP) 邻苯二甲酸二乙酯(DEP)等 6种 PAEs 列 为优先控制的有毒污染物[2-3]。基于大气沉降[4]、污 水灌溉[5]、农用薄膜使用[6-8]、污泥和肥料的施用[9] 等因素, PAEs 在土壤中的检出频率和浓度都很高。 邻苯二甲酸二丁酯 (Di-n-butyl phthalate DBP) 作为 一种常见的 PAEs, 其在农业土壤中的浓度高于其他 种类的 PAEs,有研究表明广州、深圳的蔬菜基地土 壤中∑6PAEs 含量为 3.00~45.67 mg/kg ,其中 DBP 含 量为 0~20.55 mg/kg<sup>[10]</sup>;台州电子废物拆解地区水稻 土中Σ<sub>6</sub>PAEs 含量为 0~50.587 mg/kg , 其中 DBP 含 量为 0~20.69 mg/kg<sup>[11]</sup>;河北邯郸农业土壤中 DBP 的含量为 3.18~29.37 mg/kg<sup>[12]</sup>, 显著高于美国、丹 麦和荷兰等欧美国家[13]。

蔬菜作为人类膳食必不可少的组成部分,其质量 安全水平直接关系到人体健康。有研究表明,蔬菜中 DBP 的累积量与土壤中 DBP 的含量呈正相关[14—16]。 目前,国内还无关于食品中 DBP 含量的控制标准, 美国国家环保局(EPA)和欧洲食品安全局(EFSA) 针对生殖发育毒性制定的 DBP 每日可耐受摄入量 (TDI)为 0.01 mg/kg<sup>[2,17]</sup>,研究数据显示,中国局部 地区蔬菜中 DBP 含量已远高于美国和欧洲的建议标 准,存在较大的人体健康风险[18-20]。近年来,对 PAEs 在土壤中的含量和成分[21-23]、在土壤-蔬菜中的迁 移、分配、富集[18,24-25]、对蔬菜生长的影响[26-27]等 方面的研究较多,但对蔬菜餐前加工后 PAEs 含量的 变化和人体健康风险评价等方面的研究却很少。萝卜 是一种消费量较大的蔬菜,文中实验针对在不同浓度 DBP 污染下的土壤中种植的萝卜,研究不同加工方式 对其 DBP 残留量变化和膳食暴露的影响,拟为萝卜 在食用与贮藏过程中的合理加工,以及降低 DBP 对 人体健康的潜在风险提供参考。

### 1 实验

### 1.1 材料及设计

#### 1.1.1 供试材料

供试种子为青岛蓉睦善良种有限公司的"九斤王",供试土壤采自重庆市潼南区前进村绿色蔬菜基地。

#### 1.1.2 盆栽试验

分别称取 50,150,250 mg DBP 溶于丙酮(分析纯)中,配成 3 个浓度的丙酮溶液,并加入 5 kg 原始土壤拌匀,即制得 3 个污染浓度的土壤(10,30,50 mg/kg),于阴凉通风处待丙酮挥发干净后,以去离子水调至最大田间持水量的 70%,并将其置于温室内平衡 15 d,于 2019 年 4 月 3 日播种,2019 年 6 月 8 日收获,全生育期为 69 d。

#### 1.2 萝卜取样与模拟加工试验

挑选个体完整、无霉烂、无病虫害、无机械损伤、 色泽较好的新鲜萝卜清洗干净,并切成尺寸为8cm×4cm×1cm的块状。

- 1)漂烫。将萝卜块放沸水中漂烫 1,2,3,4,5,6,7 min,各指标重复测定 3次。
- 2) 腌制。将萝卜块用质量分数分别为 4%,6%,12%,18%的食盐进行腌制,连续 7 d 每天取样测定,各指标重复测定 3 次。
- 3)干制。将萝卜块放入 50,60 ℃烘箱中干制 0.5,1,1.5,2,2.5,3,3.5,4h,各指标重复测定 3次,并在烘干4h后测定其失水率。

#### 1.3 PAEs 含量测定

PAEs 含量的测定参考饶潇潇等 $^{[28]}$ 的方法,并加以改良。色谱柱: ZORBAX SB-C18 4.6 mm×150 mm,5 μm。温度为室温(约 25°C),检测器为紫外检测器,检测波长为 224 nm,进样量为 10 μL,流速为 1.0 mL/min,流动相为甲醇/水,梯度见表 1,保留时间为 30 min。

#### 1.4 加工因子的计算与膳食暴露评估

加工因子 (Processing Factor, PF) 指加工后农

产品中污染物残留量(mg/kg)与加工前污染物残留量(mg/kg)的比值 $^{[29]}$ 。

表 1 实验色谱最佳梯度条件 Tab.1 Best gradient conditions of the experimental chromatography

| 时间/min | 蒸馏水质量分数/% | 甲醇质量<br>分数/% | 流速/<br>(mL·min <sup>-1</sup> ) |
|--------|-----------|--------------|--------------------------------|
| 0      | 70        | 30           | 1                              |
| 10     | 50        | 50           | 1                              |
| 20     | 20        | 80           | 1                              |
| 30     | 0         | 100          | 1                              |
| 31     | 70        | 30           | 1                              |
| 35     | 70        | 30           | 1                              |

实验的膳食暴露评估方法采用每日可耐受摄入量(Tolerable Daily Intake, TDI) 国家日摄入估计值(National Estimated Daily Intake, NEDI) 风险指数(Risk Quotient, RQ)进行评估。

### 国家日摄入量估计值的计算:

$$NEDI = \sum R_i \times E_i \times P_i \times F_i$$

式中:  $R_i$  为规范残留试验中值;  $E_i$  为食品的可食部分因子;  $P_i$  为食品的加工因子;  $F_i$  为国内人均膳食消费量<sup>[30]</sup>。文中试验  $R_i$  为试验数据的平均值,  $E_i$  为 1,  $P_i$  为 1,  $P_i$  引用包崇来等<sup>[31]</sup>的数据(88 g)。

$$RQ = \frac{NEDI}{TDI \times 60} \times 100\%$$

式中:TDI为每千克体质量的每日可耐受摄入量(mg/kg)。目前我国只对食品容器、医疗制品、儿童玩具等塑料制品制定了 DBP 的使用标准。文中实验采用欧洲食品安全局(European Food Safety Authority, EFSA)针对发育毒性制定的每日可耐受摄入量(Tolerable Daily Intake, TDI值),即 DBP 的含量为0.01 mg/kg<sup>[17]</sup>。我国人均体质量一般按 60 kg 计算。

#### 1.5 数据处理

数据重复测定 3 次,用 SPSS 20.0 统计软件对数据进行差异性分析,用 Excel 2013 进行统计计算和绘图。

### 2 结果与分析

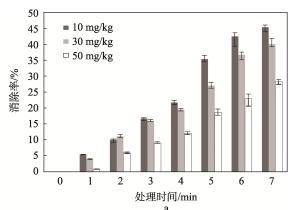
# 2.1 萝卜在模拟加工过程中 DBP 残留量和 加工因子的变化

#### 2.1.1 漂烫加工

加工因子可以反映加工操作对 DBP 残留量的影响。当加工因子小于 1 时,表明加工过程中 DBP 的

残留量降低,反之则表明残留量增加。研究结果表明(见图 1),随着漂烫时间的增加,各污染浓度下的DBP 残留量和加工因子都逐渐减小,低剂量处理下DBP的消除率为5.55%~45.54%;中等剂量处理下,DBP的消除率为4.13%~40.24%;高剂量处理下,DBP的消除率为0.96%~28.35%;说明漂烫加工对DBP有去除作用。同时,对比不同污染浓度下萝卜的消除率发现,相同处理时间下污染浓度越低则消除率越高。

影响萝卜加工过程中 DBP 残留量的主要因素包括降解、共蒸馏和挥发。DBP 是由一个刚性平面芳环和 2 个可塑非线性脂肪侧链组成的有机污染物,化学结构稳定,因此 DBP 在加工过程中难以降解。共蒸馏作用理论上决定于化学物质本身的水溶解度<sup>[32]</sup>,由于 DBP 为亲脂结构,其水溶解度很小,因此在加工过程中 DBP 难以与水发生共蒸馏作用<sup>[33]</sup>。DBP 作为具有半挥发性质的环境污染物,其饱和蒸气压较高,且固/水分配系数(Kow)较低,随着漂烫时间的增加,DBP 会从环境介质中迁移并挥发。



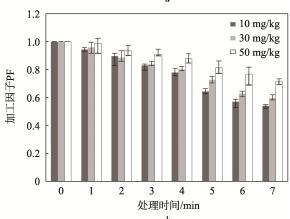


图 1 漂烫加工对萝卜中 DBP 消除率和加工因子的影响 Fig.1 Effect of blanching on the DBP removalrate and its PF in radish

#### 2.1.2 腌制加工

研究结果表明(见图 2),不同腌制浓度下随着腌制时间的增加,DBP残留量和加工因子均先减小后

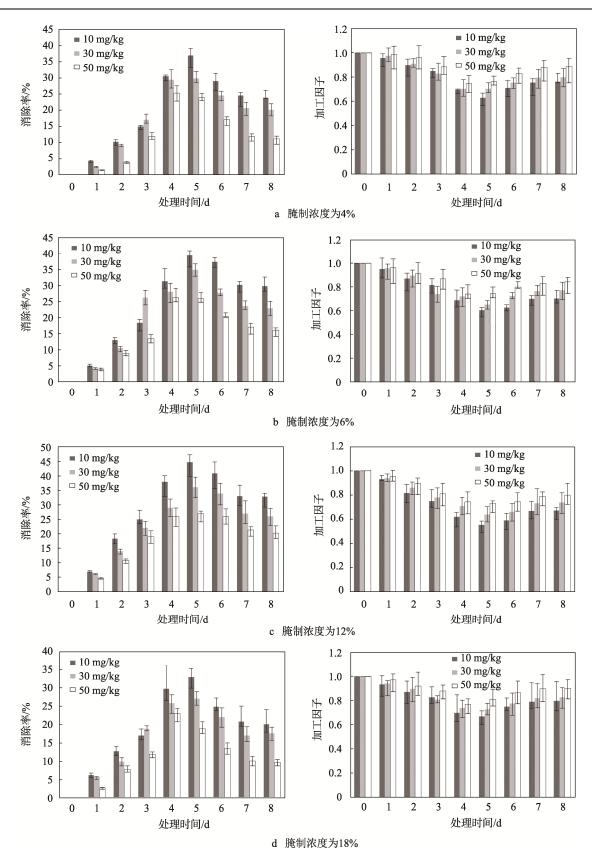


图 2 腌制加工对萝卜中 DBP 消除率和加工因子的影响 Fig.2 Effect of curing on the DBP removalrate and its PF in radish

逐渐增加,并在一定时间后趋于稳定。腌制浓度(用食盐的质量分数表示)为4%时,不同污染浓度下DBP消除率分别在腌制的第5天、第5天和第4天

达到最大值,最大值分别为 36.97%, 29.77%和 25.28%; 腌制浓度为 6%时,不同污染浓度下 DBP 消除率分别在腌制的第5天、第5天和第4天达到

最大值,最大值分别为 39.53%, 34.98%和 26.22%; 腌制浓度为 12%时,不同污染浓度下 DBP 消除率均在腌制的第 5 天达到最大值,最大值分别为 44.74%, 36.07%和 27.01%; 腌制浓度为 18%时,不同污染浓度下 DBP 消除率分别在腌制第 5 天、第 5 天和第 4 天达到最大值,最大值分别为 33.18%, 27.23%和 23.19%。

溶度参数又被称为溶解度参数,是衡量物质之间相容性的重要参数。萝卜的腌制过程是腌制液向其组织内扩散的过程,同时也是组织内的自由水向外渗透的过程。在腌制过程中,萝卜中的碳水化合物在各种微生物和酶的作用下分解,产生有机酸。相对于水溶液,有机酸的溶解度参数与 DBP 差距更小,更容易溶解在有机酸中。在不同盐浓度腌制下,前 4~5 d,腌制液中有机酸快速累积,pH 值迅速下降,腌制液的溶解度参数与 DBP 差距缩小,对萝卜中 DBP 残留消除率的影响由高到低的腌制浓度为 12%,6%,4%,18%。在腌制 4~5 d 后,会导致细胞缺氧,致使萝卜细胞死亡,细胞膜由选择透过性变为全透性,DBP 随腌制液一起进入细胞,导致萝卜中 DBP 的残留量上升。实验结果表明,在盐的质量分数为 12%下腌制5 d 后对 DBP 的消除效果最佳。

#### 2.1.3 干制加工

研究结果表明(见图3),随着干制时间的增加,DBP 残留量和加工因子先增加后逐渐减小,并在一定时间后趋于稳定。在干制温度为50℃时,不同污染浓度处理下 DBP 的残留量均在干制 1.5 h 后达到最大,然后残留量逐渐减少,消除率分别为 12.81%,-5.28%,-31.10%。由于干制加工使萝卜中水分大量散失,将萝卜含水量换算为初始含水量后,不同污染浓度处理下 DBP 的实际残留量分别降低了 73.58%,68.10%和 60.28%;在干制温度为 60℃时,不同污染浓度处理下 DBP 的残留量均在干制 1.5 h 后达到最大,然后残留量逐渐减少,消除率分别为 24.32%,3.09%和-11.25%,将萝卜含水量换算为初始含水量后,不同污染浓度处理下 DBP 的实际残留量分别降低了 82.06%,77.03%和 73.63%。

水分散失和 DBP 挥发是影响干制加工对萝卜中DBP 残留量的 2 个重要因素,干制前期萝卜中 DBP 残留量升高的主要原因是萝卜中水分快速散失,且干制温度越高水分散失得越快,并非外界 DBP 的二次污染。干制后期萝卜中 DBP 残留量的减少主要是由于 DBP 的挥发,且在 60 ℃下 DBP 残留量减少得更快,说明温度对 DBP 去除率的影响显著。这是因为

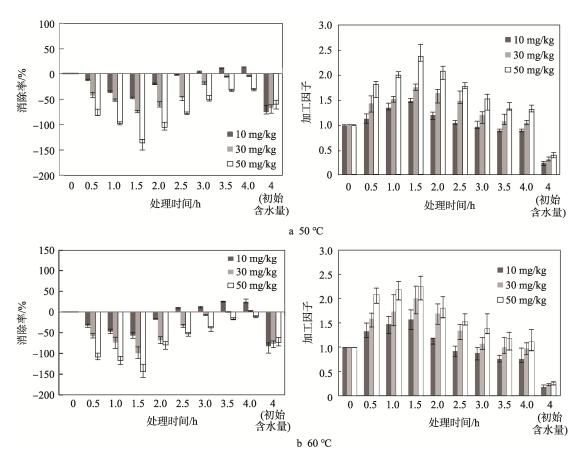


图 3 干制加工对萝卜中 DBP 消除率和加工因子的影响 Fig.3 Effect of drying on the DBP removalrate and its PF in radish

温度的提高可以加快分子间的运动,有利于污染物从介质中解吸出来<sup>[34]</sup>。在相同温度下 DBP 污染水平越低,DBP 消除率越高,越容易减少挥发,可能是由于干制过程在相对密封的环境中进行,DBP 挥发后形成的气体难以与外界环境交换,高浓度污染下 DBP 在空气中更快达到饱和,使得 DBP 残留量缓慢地减少。

# 2.2 DBP 残留膳食暴露评估及模拟加工的 影响

一般当消费者的风险指数高于 100 时,其膳食暴露的风险程度较高。从漂烫加工的风险指数(见表 2)来看,各污染浓度下的膳食风险指数均随着漂烫时间的增加逐渐降低,其中低浓度污染下膳食风险指数的降低幅度最大,仅为 18.72。从腌制加工的膳食风险指数均先减小后逐渐增加,在腌制浓度为 12%下处理 4 d 后萝卜的膳食风险指数降低最显著,3 种浓度的风险指数分别为 18.47,73.21 和 148.28。从干制加工的膳食风险指数分别为 18.47,73.21 和 148.28。从干制加工的膳食风险指数(见表 4)来看,在 2 种干制温度下,各浓度水平下的膳食风险指数均先增加后减小,且在干制 4 h 后达到最低。若考虑到干制加工中含水量的大量散失,在 50 °C下 3 种浓度的风险指数仅为 8.97, 35.13 和 80.23,在 60 °C下 3 种浓度的风险指数仅为 5.46, 23.03 和 48.50。

由于 DBP 具有高亲脂性,其在空气和水中的浓度不高,所以饮食是进入人体体内的主要途径,DBP 残留对人体健康的影响应根据暴露评估和风险指数来确定,如果风险指数(TDI,%)大于 100,说明暴露量会给人体构成暴露风险,应采取风险管理措施降低风险。由图 4 可以看出,萝卜中 DBP 残留量与土壤中 DBP 的浓度水平相关,相关系数(R²)为

99.47%,表明萝卜累积 DBP 与土壤中 DBP 的浓度水平呈强烈的正相关性,按 DBP 每日可耐受摄入量(TDI)为 0.01 mg/kg 来说,当土壤中 PAEs 含量达到 26.21 mg/kg 时,风险指数为 100,而对采用漂烫、腌制和干制等 3 种加工方式加工后的 DBP 残留量进行暴露评估后发现,比初始评估值最高可分别降低45.54%,44.73%和24.32%。考虑到干制加工中水分的流失,使用初始含水量计算后干制加工暴露评估比最高可降低82.06%。目前,针对蔬菜餐前加工后PAEs含量的变化和人体健康风险评价等方面的研究很少。Fierens等[35]的研究表明,食品在经过冲洗、油炸、水煮等加工处理后,DBP的含量会发生变化。文中试验结果也表明,在膳食暴露评估中引入加工因子可以修正以初始残留量计算的评估值。

表 2 漂烫加工下萝卜中 DBP 的膳食暴露评估 Tab.2 Dietary exposure assessment on the DBP in radish in the blanching process

| 处理时间 | 风险指数 RQ(TDI,%) |          |          |  |  |  |  |
|------|----------------|----------|----------|--|--|--|--|
| /min | 10 mg/kg       | 30 mg/kg | 50 mg/kg |  |  |  |  |
| 0    | 34.38          | 108.64   | 203.41   |  |  |  |  |
| 1    | 32.47          | 104.15   | 201.45   |  |  |  |  |
| 2    | 30.87          | 96.42    | 190.98   |  |  |  |  |
| 3    | 28.58          | 91.11    | 184.86   |  |  |  |  |
| 4    | 26.88          | 87.39    | 178.6    |  |  |  |  |
| 5    | 22.18          | 79.08    | 165.44   |  |  |  |  |
| 6    | 19.71          | 68.68    | 156.48   |  |  |  |  |
| 7    | 18.72          | 64.92    | 145.75   |  |  |  |  |

表 3 腌制加工下萝卜中 DBP 的膳食暴露评估 Tab.3 Dietary exposure assessment on the DBP in radish in the curing process

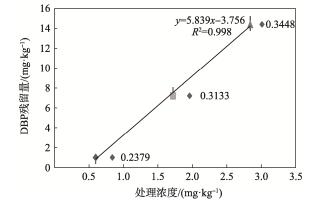
|          | 风险指数 RQ(TDI,%) |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |
|----------|----------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 理        | 4%             |             |             | 6%          |             | 12%         |             |             | 18%         |             |             |             |
| 时<br>间/d | 10<br>mg/kg    | 30<br>mg/kg | 50<br>mg/kg | 10<br>mg/kg | 30<br>mg/kg | 50<br>mg/kg | 10<br>mg/kg | 30<br>mg/kg | 50<br>mg/kg | 10<br>mg/kg | 30<br>mg/kg | 50<br>mg/kg |
| 0        | 32.96          | 111.86      | 205.03      | 28.81       | 116.5       | 213.12      | 33.43       | 114.52      | 203.15      | 31.84       | 112.76      | 200.16      |
| 1        | 31.58          | 109.2       | 202.23      | 27.35       | 111.61      | 204.76      | 31.07       | 107.56      | 193.73      | 29.81       | 106.19      | 194.53      |
| 2        | 29.59          | 101.78      | 197.24      | 25.04       | 104.25      | 194.13      | 27.28       | 98.51       | 181.19      | 27.76       | 101.46      | 184.47      |
| 3        | 28.03          | 92.85       | 180.82      | 23.52       | 85.86       | 184.36      | 25.06       | 89.21       | 164.43      | 26.39       | 91.28       | 176.12      |
| 4        | 22.91          | 78.90       | 153.19      | 19.77       | 83.88       | 157.24      | 20.72       | 81.20       | 150.38      | 22.30       | 83.44       | 153.74      |
| 5        | 20.77          | 78.56       | 156.26      | 17.42       | 75.74       | 157.84      | 18.47       | 73.21       | 148.28      | 21.28       | 82.05       | 162.20      |
| 6        | 23.41          | 84.41       | 170.20      | 18.03       | 84.15       | 169.84      | 19.75       | 75.64       | 150.36      | 23.87       | 87.73       | 173.04      |
| 7        | 24.89          | 88.84       | 180.58      | 20.09       | 88.91       | 176.94      | 22.36       | 83.65       | 159.76      | 25.16       | 93.43       | 179.90      |
| 8        | 25.09          | 89.34       | 182.31      | 20.22       | 89.69       | 178.81      | 22.44       | 84.62       | 161.91      | 25.41       | 92.70       | 180.51      |

4(初始含水量)

| Tab.4 Dietary exposure assessment on the DBF in radish inthe drying process |          |                |          |          |          |          |  |  |
|---|----------|----------------|----------|----------|----------|----------|--|--|
|   |          | 风险指数 RQ(TDI,%) |          |          |          |          |  |  |
| 处理时间/d  |          | 50 °C          |          | 60 °C    |          |          |  |  |
|   | 10 mg/kg | 30 mg/kg       | 50 mg/kg | 10 mg/kg | 30 mg/kg | 50 mg/kg |  |  |
| 0   | 32.96    | 111.86         | 205.03   | 28.81    | 116.5    | 213.12   |  |  |
| 0.5   | 31.58    | 109.20         | 202.23   | 27.35    | 111.61   | 204.76   |  |  |
| 1   | 29.59    | 101.78         | 197.24   | 25.04    | 104.25   | 194.13   |  |  |
| 1.5   | 28.03    | 92.85          | 180.82   | 23.52    | 85.86    | 184.36   |  |  |
| 2   | 22.91    | 78.90          | 153.19   | 19.77    | 83.88    | 157.24   |  |  |
| 2.5   | 20.77    | 78.56          | 156.26   | 17.42    | 75.74    | 157.84   |  |  |
| 3   | 23.41    | 84.41          | 170.20   | 18.03    | 84.15    | 169.84   |  |  |
| 3.5   | 24.89    | 88.84          | 180.58   | 20.09    | 88.91    | 176.94   |  |  |
| 4   | 25.09    | 89.34          | 182.31   | 20.22    | 89.69    | 178.81   |  |  |
|   |          |                |          |          |          |          |  |  |

80.23

表 4 干制加工下萝卜中 DBP 的膳食暴露评估 Tab.4 Dietary exposure assessment on the DBP in radish inthe drying process



8.97

35.13

图 4 土壤与萝卜中 PAEs 浓度的关系 Fig.4 Correlation between PAE sconcentration in soil and radish

### 3 结语

加工因子可以反映加工操作对 DBP 残留量的影响,试验表明,溶度参数、水分散失和 PAEs 挥发是影响萝卜中 DBP 含量的 3 个关键因子,腌制、干制和漂烫等加工过程均对萝卜中 DBP 的含量有显著影响。若考虑失水对萝卜中 DBP 残留量的影响,3 种加工方式对 DBP 的去除效果的顺序为:干制>漂烫>腌制。

对于初级农产品而言,土壤中 DBP 含量超过26.21 mg/kg 时,萝卜的食用就会给人体构成暴露风险,但考虑到农产品加工对其的影响,DBP 风险值是被高估的。如果将加工对 DBP 残留的影响引入膳食暴露研究,可以更加准确地计算人群 DBP 摄入的水平。

文中实验通过研究餐前加工对萝卜中 DBP 残留的影响,可以更加准确地为 DBP 膳食暴露评估提供理论及数据依据,为选择合适的加工贮藏方式提供参考,在加工贮藏过程中萝卜的品质变化还有待进一步研究。

5.46

23.03

48.50

#### 参考文献:

- [1] DU J B, TANG Y L, LONG Z W, et al. Theoretical Calculation of Spectra of Dibutyl Phthalate and Dioctyl Phthalate[J]. Russian Journal of Physical Chemistry A, 2014, 88(5): 81—822.
- [2] WANG J L,YE Y C,WU W Z. Comparison of Di-n-methyl Phthalate Biodegradation by Freeandimmobilized Microbial Cells[J]. Biomedical and Environmental Sciences, 2003, 16(2): 126—132.
- [3] YANG G C, HUANG S C, JEN Y S, et al. Remediation of Phthalates in River Sediment by Integrated Enhanced Bioremediation and Electrokinetic Process[J]. Chemosphere, 2015, 150: 576—585.
- [4] PEIJNENBURG W J G M, STRUIJS J. Occurrence of Phthalate Esters in the Environment of the Netherlands[J]. Ecotoxicol Environ Safety, 2006, 63(2): 204—215.
- [5] 李梅, 王翠彦, 于小迪, 等. 污水处理厂中邻苯二甲酸酯类物质分布及去除特性研究[J]. 安全与环境学报, 2014, 14(5): 186—190.

  LI Mei, WANG Cui-yan, YU Xiao-di, et al. Distribution and Removal Characteristics of Phthalic Acid Esters in Sewage Treatment Plants[J]. Journal of Safety and Environment, 2014, 14(5): 186—190.
- [6] HUX Y, WEN B, SHAN X Q. Survey of Phthalate

- Pollution in Arable Soils in China[J]. Journal of Environmental Monitoring, 2003, 5(4): 649—653.
- [7] 于立红,高玉梅,吴亚铭,等. 地膜中酞酸酯类化合物对土壤-玉米的污染及其模型模拟[J].水土保持研究,2017,24(5): 347—351.
  - YU Li-hong, GAO Yu-mei, WU Ya-ming, et al. Soil-Corn System Polluted by Phthalate Esters in Plastic Film and Its Model Simulation[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2017, 24(5): 347—351.
- [8] CHEN Y S, LUO Y M, ZHANG H B. Preliminary Study on PAEs Pollution of Greenhouse Soils[J]. Acta Pedologica Sinica, 2011, 48(3): 518—523.
- [9] 蔡全英,莫测辉,吴启堂,等.水稻土施用城市污泥盆栽通菜土壤中邻苯二甲酸酯(PAEs)的残留[J].环境科学学报,2003,23(3):365—369.
  CAI Quan-ying, MO Ce-hui, WU Qi-tang, et al. Effect of Municipal Sludges and Chemical Fertilizers on the Content of Phthalic Acid Esters (PAEs) in Paddy Soils Grown LpomoeaAquatic[J]. Acta ScientiaeCircumstantiae, 2003, 23(3):65—369.
- 生产基地土壤中邻苯二甲酸酯(PAEs)研究[J]. 生态学报, 2005, 25(2): 283—288.
  CAI Quan-ying, MO Ce-hui, LI Yun-hui, et al. The Study of PAEs in Soils F from Typical Vegetable Fields in Areas of Guangzhou and Shenzhen, South China[J].

蔡全英, 莫测辉, 李云辉, 等. 广州、深圳地区蔬菜

[10]

[11] 张中华,金士威,段晶明,等.台州电子废物拆解地 区表层土壤中酞酸酯的污染水平[J].武汉工程大学 学报,2010(7):28—32.

Acta Ecologica Sinica, 2005, 25(2): 283-288.

- ZHANG Zhong-hua, JIN Shi-wei, DUAN Jing-ming, et al. Phthalates Levels in Soil Samples from the E-waste Disassembly Sites[J]. Journal of Wuhan Institute of Technology, 2010(7): 28—32.
- [12] XU Gang, LI Fa-sheng, WANG Qun-hui. Occurrence and Degradation Characteristics of Dibutyl Phthalate (DBP) and Di-(2-Ethylhexyl) Phthalate (DEHP) in Typical Agricultural Soils of China[J]. Science of the Total Environment, 2008, 393: 333—340.
- [13] 王凯荣,崔明明,史衍玺.农业土壤中邻苯二甲酸酯 污染研究进展[J].应用生态学报,2013,24(9):2699— 2708
  - WANG Kai-rong, CUI Ming-ming, SHI Yan-xin. Phthalic Acid Ester (PAEs) Pollution in Farland Soils[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2013, 24(9): 2699—2708.
- [14] WANG J, LUO Y, TENG Y, et al. Soil Contamination by Phthalate Esters in Chinese Intensive Vegetable Production Systems with Different Modes of Use of Plastic Film[J]. Environmental Pollution, 2013, 180: 265—273.
- [15] 曾巧云,莫测辉,蔡全英,等.邻苯二甲酸二丁酯在 不同品种菜心-土壤系统的累积[J].中国环境科学, 2006, 26(3): 333—336.

- ZENG Qiao-yun, MO Ce-hui, CAI Quan-ying, et al. Accumulation of Di-n-butyl Phthalate in Different Genotypes of Brassica Campestris-soil Systems[J]. China Environmental Science, 2006, 26(3): 333—336.
- [16] 蔡全英,莫测辉,曾巧云,等. 邻苯二甲酸酯在不同品种通菜-土壤系统中的累积效应研究[J]. 应用生态学报, 2004, 15(8): 1455—1458.

  CAI Quan-ying, MO Ce-hui, ZENG Qiao-yun, et al. Accumulation of Di- (2-Ethylhexyl) Phthalate in Various Genotype Ipomoea Aquatica-paddy Soil System[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2004, 15(8): 1455—1458.
- [17] EFSA. Opinion of the Scientific Panel on Food Additives Flavourings, Processing Aids and Material in Contact with Food(afc) on a Request from the Commission Related to Di-butyl Phalate(DBP) for use in Food Contact Materials[J]. EFSA Journal, 2005, 3(9): 47—72.
- [18] MO CH, CAI QY, TANG SR, et al. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons(PAHs) and Phthalic Acid Esters (PAEs) in Vegetables from Ninefarms of the Pearl River Delta, South China[J]. Contamination and Toxicology, 2009, 56 (2): 181—189.
- [19] 李彬, 吴山, 梁金明, 等. 中山市农业区域土壤-农产品中邻苯二甲酸酯(PAEs) 污染特征[J]. 环境科学, 2015, 36(6): 2283—2291.

  LI Bin, WU Shan, LIANG Jin-ming, et al. Characteristics of Phthalic Acid Esters in Agricultural Soils and Products in Areas of Zhongshan City, South China[J]. Environmental Science, 2015, 36(6): 2283—2291.
- [20] 李彬, 吴山, 梁金明, 等. 珠江三角洲典型区域农产品中邻苯二甲酸酯(PAEs)污染分布特征[J]. 环境科学, 2016, 37(1): 317—324.

  LI Bin, WU Shan, LIANG Jin-ming, et al. Distribution Characteristics and Risk Assessment of Phthalic Acid Esters in Agricultural Products Acid Esters in Agricultural Products around the Pearl River Delta, South China[J]. Environmental Science, 2016, 37(1): 317—324.
- [21] 杨国义,张天彬,高淑涛,等.广东省典型区域农业土壤中邻苯二甲酸酯含量的分布特征[J].应用生态学报,2007,18(10):2308—2312.
- [22] ZENG F, CUI K, XIE Z, et al. Distribution of Phthalate Esters in Urbansoils of Subtropical City, Guangzhou, China[J]. Journal of Hazardous Ma-terials, 2009, 164(2/3): 1171—1178.
- [23] 杨婷, 何明靖, 杨志豪, 等. 邻苯二甲酸酯在三峡库 区消落带非淹水期土壤中污染特征及健康风险[J]. 环境科学, 2017, 38(10): 4187—4193. YANG Ting, HE Ming-jing, YANG Zhi-hao, et al. Occurrence, Distribution and Health Risk of the Phthalate

currence, Distribution and Health Risk of the Phthalate Esters in Riparian Soil in the Fluctuating Zone of the Three Gorges Reservoir[J]. Environmental Science, 2017, 38 (10): 4187—4193.

- [24] 崔明明, 王凯荣, 王琳琳, 等. 山东省花生主产区土壤和花生籽粒中邻苯二甲酸酯的分布特征[J]. 应用生态学报, 2013, 24(12): 3523—3530.

  CUI Ming-ming, WANG Kai-rong, WANG Lin-lin, et al. Distribution Characteristics of Phthalic Acid Esters in Soils and Peanut Kernels in Main Peanut Producing Areas of Shandong Province, China[J]. Chinese Jour-
- [25] DONG H G, LIU T, HAN Z Q, et al. Determining Time Limits of Continuous Film Mulching and Examining Residual Effects on Cotton Yield and Soill Properties[J]. Journal of Environmental Biology, 2015, 36(3): 677.

nal of Applied Ecology, 2013, 24(12): 3523-3530.

- [26] 杨延杰, 王晓伟, 赵康, 等. 邻苯二甲酸对萝卜种子 萌发、幼苗叶片膜脂过氧化及渗透调节物质的影响 [J]. 生态学报, 2013, 33(19): 6074—6080. YANG Yan-jie, WANG Xiao-wei, ZHAO Kang, et al. Effects of Phthalic Acid on Seed Germination, Membrane Lipid Peroxidation and Osmoregulation Substance of Radish Seedlings[J]. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(19): 6074—6080.
- [27] WANG J, CHEN G, CHRISTIE P, et al. Occurrence and Risk Assessment of Phthalateesters (PAEs) in Vegetables and Soils of Suburban Plastic Film Greenhouses[J]. Science of the Total Environment, 2015, 523: 129—137.
- [28] 饶潇潇, 王建超, 周震峰. 花生对土壤中邻苯二甲酸酯的吸收累积特征[J]. 环境科学学报, 2017, 37(4): 1531—1538.
  - RAO Xiao-xiao, WANG Jian-chao, ZHOU Zhen-feng. Characteristics of Uptake and Accumulation of Phthalic Acid Esters in Soil by Peanut (Arachis Hypogaea)[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2017, 37(4):

- 1531-1538.
- [29] ZHANG Z Y, LIU X J, HONG X Y. Effects of Home Preparation on Pesticide Residues in Cabbage[J]. Food Control, 2007, 18(12): 1484—1487.
- [30] WHO(World Health Organization). Guidelines for Predicting Dietary intake of Pesticide Residues (Revised), Document WHO /FSF / FOS /97.7[R]. WHO, Geneva, Switzerland, 1997: 3—4.
- [31] 包崇来, 汪精磊, 胡天华, 等. 我国萝卜产业发展现状与育种方向探讨[J]. 浙江农业科学, 2019, 60(5): 707—710.

  BAO Chong-lai, WANG Jing-lei, HU Tian-hua, et al. Current Situation and Breeding Direction of Radish Industry Development[J]. Journal of Zhejiang Agricultural Sciences, 2019, 60(5): 707—710.
- [32] KARTHIKA C, MURALEEDHARAN N. Influence of Manufacturing Process on the Residues of Certain Fungicides Used on Tea[J]. Toxicological and Environmental Chemistry, 2010, 92(7): 1249—1257.
- [33] STARK T D, CHOI H, DIEBEL P W. Influence of Plasticizer Molecular Weight on Plasticizer Retention in PVC Geomembranes[J]. Geosynthetics International, 2005, 12(1): 1—12.
- [34] 房丽萍. 邻苯二甲酸酯类环境激素分析方法及迁移规律研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2004: 64—67. FANG Li-ping. The Study on the Determination and Migration of Phthalic Acid Esters Environmental Hormones Abstract[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2004: 64—67.
- [35] FIERENS T, SERVAES K, VAN H M, et al. Analysis of Phthalates in Food Products and Packaging Materials Sold on the Belgian Market[J]. Food and Chemical Toxicology, 2012, 50(7): 2575—2583.