

# 天津地区致癌风险的预期寿命损失分析

杨宇, 胡建英, 陶澍\*

(北京大学环境学院 地表过程分析与模拟教育部重点实验室, 北京 100871)

**摘要:** 预期寿命损失是健康风险评价统一的指标. 本文根据天津的人口统计数据及有关资料求算了天津地区特定致癌风险条件下预期寿命损失. 结果表明, 单位致癌风险 ( $10^{-5}$ ) 的污染物暴露下, 天津地区男性和女性平均预期寿命损失分别为 58.47 min 和 66.82 min. 同时发现本底癌症发病率是预期寿命损失的决定因素, 而相关参数对结果影响较小.

**关键词:** 预期寿命损失; 污染; 风险分析; 癌症

中图分类号: X18 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2005)01-0168-05

## Loss of Life Expectancy Analysis for Cancer Risk in Tianjin Area

YANG Yu, HU Jian-ying, TAO Shu

(Laboratory for Earth Surface Processes, College of Environmental Sciences, Peking University, Beijing 100871, China)

**Abstract** Loss of Life Expectancy was proposed as the single metric for health risk assessment. Based on the statistical data of population in Tianjin, it was calculated that the unit cancer risk ( $10^{-5}$ ) equivalents to 58.47 and 66.82 minutes of life expectancy loss for male and female, respectively. The results depend strongly on the background rate of cancer, with little response for associated parameters.

**Key words** loss of life expectancy; pollution; risk analysis; cancer

传统的健康风险评价方法将污染物分为致癌污染物和非致癌污染物分别进行分析<sup>[1]</sup>. 对于非致癌污染物, 风险评价关心的是暴露量超过特定危害阈值的程度, 而对于致癌污染物的危害, 健康风险则用过剩癌症发病率来表征. 前者可以计算暴露浓度与特定阈值之比, 即风险商, 后者则计算污染物的暴露浓度与单位浓度的致癌概率的乘积<sup>[1]</sup>. 关于污染导致的健康风险, 国内外都有一些研究. 譬如, Wcislo 评价了波兰金属冶炼厂的健康风险<sup>[2]</sup>. 史春风等也曾评价松花江干流中 2 种致癌物和 5 种非致癌污染物的健康风险<sup>[3]</sup>.

传统污染物健康风险评价中对致癌与非致癌污染物分别计算是基于 2 类危害的不同机理. 其结果是无法在统一的框架下比较和归纳两者的危害, 从而为风险管理带来技术上的困难. 预期寿命损失的引入可将两者造成的危害都表述为寿命损失, 从而将他们统一在相同尺度下<sup>[4]</sup>. Camo 等基于日本的人口统计资料进行了相应计算, 得到相当于  $10^{-5}$  过剩癌症发病率的预期寿命损失为 0.046d, 同时给出了不同非致癌影响的预期寿命损失当量, 并计算了 12 种污染物的健康风险和危害顺序<sup>[5,6]</sup>. 本研究即在这一概念的基础上, 根据天津地区人口统计资料和癌症发病率资料采用生命表法计算对应于污染暴露导致给定单位癌症发病率情况下的预期寿命损失.

### 1 基础资料与计算

#### 1.1 天津地区人口年龄、死亡率和癌症发病率

预期寿命损失计算的基础资料为地区居民年龄、死亡率和癌症发病率分布. 根据最新统计资料, 收集了天津地区各年龄段的人口数量和死亡率资料, 统计时段为 1999-11-01 到 2000-10-31<sup>[7]</sup>. 结果按照性别分别列在表 1 中.

表 2 为该地区癌症发病率统计资料, 统计时段为 1993~1997 年<sup>[8]</sup>.

上述年龄、死亡率分布资料以及癌症发病率资料均用于计算天津地区人口的预期寿命及损失.

#### 1.2 预期寿命损失计算

预期寿命损失为特定暴露造成的全社会预期寿命的减量. 即为无特定影响前提下预期寿命与特定暴露条件下的预期寿命之差, 其计算以研究地区全体居民统计资料为依据. 预期寿命损失  $[LLE(x)]$  为无暴露条件下预期剩余寿命  $[L_0(x)]$  与特定暴露条件下的预期剩余寿命  $[L(x)]$  之差<sup>[5]</sup>:

$$LLE(x) = L_0(x) - L(x)$$

收稿日期: 2004-02-22; 修订日期: 2004-04-27

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40332015); 国家重点基础研究发展计划项目(2003CB415004); 国家自然科学基金资助项目(40021101, 49525102)

作者简介: 杨宇(1984-), 男, 本科生.

\* 通讯联系人

表 1 天津地区 1999-11-01 到 2000-10-31 的各年龄段人口及死亡率分布

Table 1 The data of population and death rate by age groups from 1999-11-01 to 2000-10-31 in Tianjin area

年龄/岁	人口			死亡率/ %		
	合计	男	女	合计	男	女
0	70807	37489	33318	4.053271569	4.054522660	4.051863857
1~4	305195	161663	143532	0.383361457	0.432999511	0.327453112
5~9	503820	264695	239125	0.303679886	0.366459510	0.234187141
10~14	771253	396707	374546	0.216530762	0.267199722	0.162863840
15~19	886168	456735	429433	0.276471279	0.352501998	0.195606765
20~24	750172	394716	355456	0.485222056	0.663768380	0.286955347
25~29	776082	401778	374304	0.650704436	0.873616773	0.411430281
30~34	837991	431550	406441	0.749411390	0.998725524	0.484695196
35~39	960229	491550	468679	1.045583918	1.330485200	0.746779779
40~44	933214	473909	459305	1.513050597	1.972952613	1.038525598
45~49	881475	441659	439816	2.256445163	2.868729042	1.641595576
50~54	586838	294359	292479	3.936350407	4.671166840	3.196810711
55~59	398525	196431	202094	6.737343956	8.094445378	5.418270706
60~64	358549	173852	184697	13.06655436	15.08179371	11.16964542
65~69	329520	162282	167238	23.78611313	27.65556254	20.03133259
70~74	249308	121502	127806	39.78612800	45.58772695	34.27069152
75~79	145508	69412	76096	64.32636006	72.72517720	56.66526493
80~84	68156	31389	36767	107.9435413	120.7747937	96.98914788
85~89	27344	11602	15742	152.5014628	166.3506292	142.2944988
90~94	7083	2600	4483	214.1747847	228.8461538	205.6658488
95~99	1264	421	843	260.2848101	228.0285036	276.3938316
≥100	230	74	156	117.3913043	94.59459459	128.2051282
总计	9848731	5016375	4832356	5.794452097	6.292791109	5.277136039

表 2 天津地区 1993~1997 癌症发病率/ 10<sup>-5</sup>

Table 2 The cancer rate from 1993~1997 in Tianjin area

年龄组	0	1~4	5~9	10~14	15~19	20~24	25~29	30~34	35~39	40~44
男	0	19.7	11.8	12.0	11.3	13.1	18.3	30.2	50.8	89.2
女	0	11.9	8.8	7.6	8.7	18.9	24.2	44.1	68.9	120.0
年龄组	45~49	50~54	55~59	60~64	65~69	70~74	75~79	80~84	85	
男	164.6	297.7	464.9	764.4	1153.5	1594.5	1721.9	1912.0	1588.5	
女	193.4	275.5	386.0	603.9	816.4	1042.3	1128.3	1008.8	768.6	

无暴露条件下预期剩余寿命(预期寿命与年龄之差)

按下式计算:

$$L_0(x) = \frac{S_0(x) + S_0(\max)}{2} + \sum_{y=x+1}^{\max} S_0(y) / S_0(x)$$

式中,  $x$ 、 $y$  为年龄;  $S_0(x)$  为各年龄段人口分布(同时出生的 100 000 人在  $x$  岁时的存活人数),  $\max$  为最长寿龄. 用有暴露条件下的人口分布[  $S(x)$  ]替代无暴露条件下的人口分布[  $S_0(x)$  ]即可用上式求得有暴露条件下的预期剩余寿命[  $L(x)$  ].  $S_0(x)$ 、 $S(x)$  分别是根据无暴露和有暴露下各年龄段死亡率分布计算得到, 有暴露下死亡率为无暴露下死亡率与用下式计算的过剩癌症发病率之和:

$$\mu(x) = \mu(x) \times \prod_{y=10}^x \{ (y-10) \times k(y-10) \}$$

式中,  $\mu(x)$  为年龄  $x$  时的癌症发病率. 10 为平均暴露作用潜伏期即暴露到癌症死亡率上升的时间;  $k$  代表暴露效果对暴露年限相对大小的系数;  $\prod$  是与总过剩癌症发病率对应的比例常数, 可根据各年龄段过剩癌症死亡量之和等于总过剩癌症死亡量计算得到. 根据上述结果和各年龄段的人口分布即可得到预期寿命损失均值<sup>[5]</sup>.

## 2 结果与讨论

根据天津地区相关统计资料计算得到的天津地区无暴露下人口各年龄段的预期剩余寿命计算结果如图 1 所示. 预期剩余寿命随年龄增长而下降, 男女预期剩

余寿命分布大体一致,但 0 岁时男性和女性的预期剩

余寿命分别为 74.36a 和 77.55a,女性略高于男性.

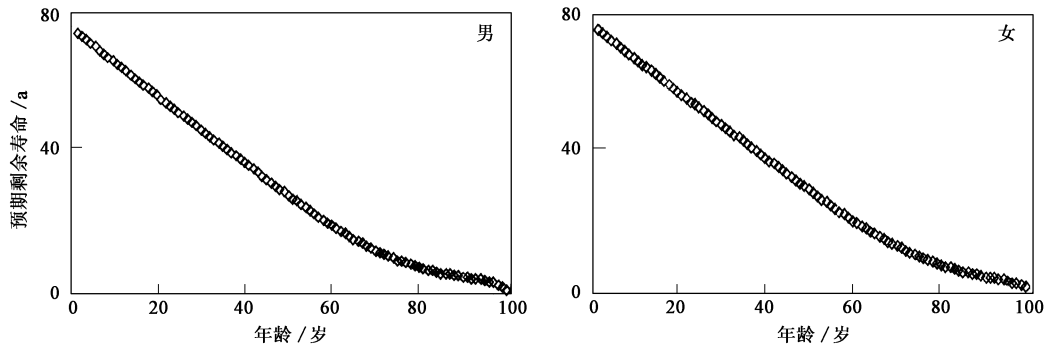


图 1 天津地区无暴露下各年龄段人口的预期剩余寿命

Fig. 1 The life expectancy of population by age groups in Tianjin area without pollution impact

在给定的  $10^{-5}$  过剩癌死亡率条件下,根据天津地区 1993 ~ 1997 癌症发病率统计资料(表 2) 计算了暴露造成的不同年龄段上的过剩癌死亡量的分布,结果如图 2,呈类似正态分布的形状在 60 岁到 80 岁之间达到峰值. 其中女性在 70 岁时达到最大

值 0.038,男性也在 70 岁时达到极值,但略高于女性,为 0.043.

根据特定过剩癌症死亡率( $10^{-5}$ ) 条件下的死亡量年龄分布求得的该特定暴露条件下天津地区人口预期剩余寿命. 结果见图 3.

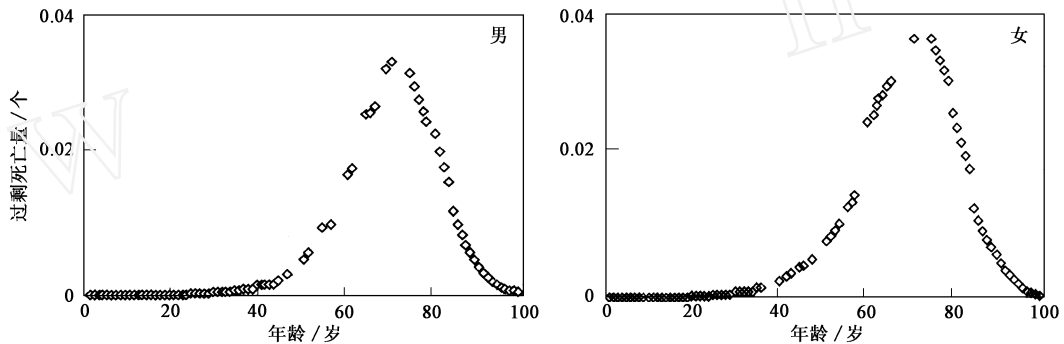


图 2 天津地区过剩癌死亡量(单位:  $10^{-5}$ ) 的年龄分布

Fig. 2 The excess cancer deaths by age groups in Tianjin area (unit:  $10^{-5}$ )

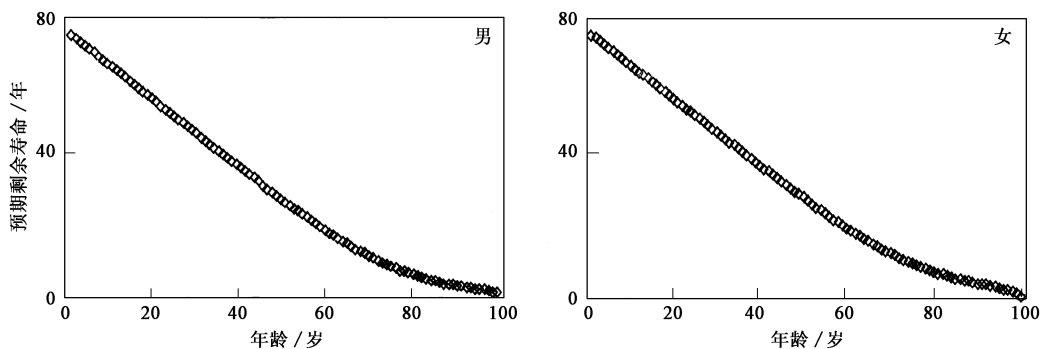


图 3 天津地区特定污染物暴露条件下(导致  $10^{-5}$  过剩癌症死亡率) 各年龄段人口的预期剩余寿命

Fig. 3 The plot of life expectancy of population exposed to pollutants causing excess death rate of  $10^{-5}$  in Tianjin area against age

有无暴露条件下得到的各年龄段人口的预期剩

余寿命之差即为该暴露下的预期寿命损失. 分年龄

段计算的这一损失的分布如图 4 所示.

如图 4 所示,男性和女性 0 岁时的预期寿命损失分别为 62.3 min 和 74.3 min. 女性潜在预期剩余寿命较长(图 1),相应的预期寿命损失也较大. 按照各年龄段人口分布得到男性和女性的平均预期寿命损失分别为 58.47 min 和 66.82 min. 包括男女在内的天津全部人口的该值为 62.16min,略低于 Camo 根据日本人口统计资料计算得到的 66.24 min. 其

差别可能与后者较长的预期寿命有关.

同时,通过计算去癌预期剩余寿命得到天津人群本底癌症造成的预期寿命损失,男性和女性的平均值分别为 3.71a 和 3.47a. 比较各年龄段上本底癌症和单位暴露(对应致癌风险为  $10^{-5}$ )造成的预期寿命损失,发现两者有很好的正相关关系(图 5). 这一结果说明,本底癌症发病率是一定暴露对预期寿命影响的决定性因素.

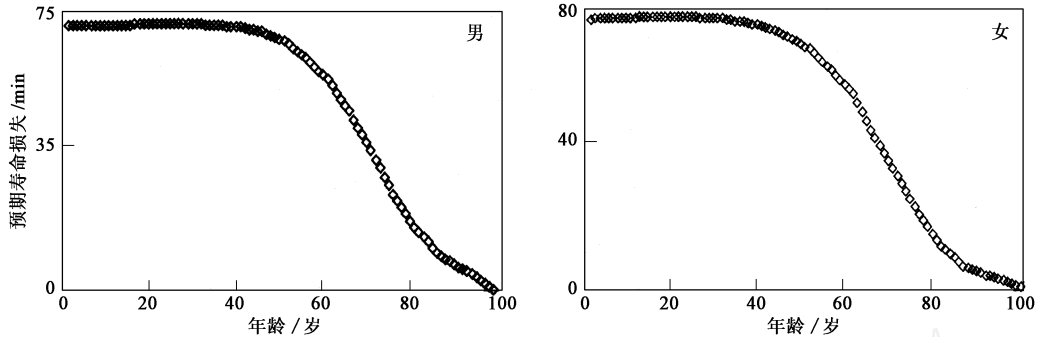


图 4 天津地区特定污染物暴露条件下(导致  $10^{-5}$  过剩癌症死亡率)各年龄段的预期寿命损失

Fig. 4 The plot of LLE of population exposed to pollutants causing excess death rate of  $10^{-5}$  in Tianjin area against age

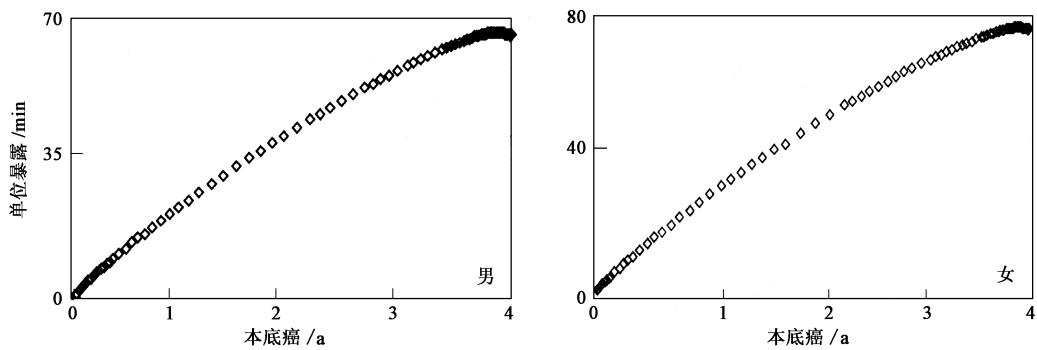


图 5 癌预期寿命损失对暴露预期寿命损失的影响

Fig. 5 The influence of LLE by background cancer on LLE caused by pollution

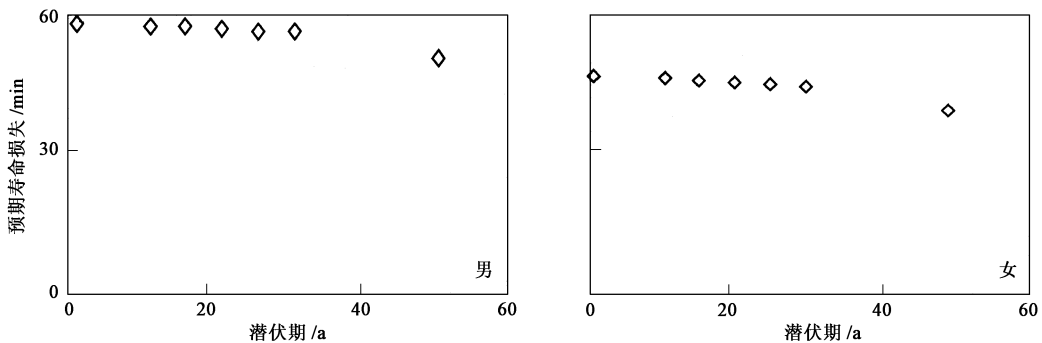


图 6 潜伏期对预期寿命损失的影响

Fig. 6 The influence of delitescence on LLE

$k$  值与作用潜伏期是模型中的 2 个重要参数. 其中  $k$  代表耐受程度随暴露时间的分布特征, 模型中援引的资料来自关于辐射危害的研究, 当然有一定的误差<sup>[5]</sup>. 而潜伏期为暴露至发病的潜伏期加上发病至死亡的存活期之和. 以上计算参照有关文献数据, 取 10a 潜伏期<sup>[9]</sup>. 如果完全不考虑潜伏期, 则男、女的预期寿命损失分别从 58.47 min 和 66.82 min 降至 53.94 min 和 61.34 min. 考虑到该参数的不确定性, 计算了潜伏期在 0 ~ 50 a 范围内不同取值对计算结果的影响. 计算结果如图 6 所示. 从图中结果可以看出, 当作用潜伏期在 0 到 50a 之间变化时, 男、女预期寿命损失的范围分别为 49.10 ~ 59.20 min 和 55.07 ~ 67.69 min.

值得注意的是, 计算中假设原始数据是无暴露人群的统计资料, 而事实上研究地区的人群已经暴露在一定的污染物浓度下, 这给计算带来了相应的误差, 消除这一误差是进一步研究的目标. 另外, 计算假设环境中一定浓度的污染物对不同年龄的人群造成相同的暴露, 这明显与事实不符, 也是分析方法有待改进之处.

### 3 结论

造成单位致癌风险( $10^{-5}$ )的污染物暴露下, 天津地区男性和女性平均预期寿命损失分别为 58.47 min 和 66.82 min. 本底癌症发病率是预期寿命损失

的决定因素, 而相关参数对结果影响较小.

#### 参考文献:

- [ 1 ] USEPA (US Environmental Protection Agency). Guidelines for Carcinogen Risk Assessment [J]. Federal Register, 1986, 51 (185), 33 992 ~ 3 4003.
- [ 2 ] Weislo E, Ioven D, Kucharski R, Szdzuj J. Human health risk assessment case study: an abandoned metal smelter site in Poland [J]. Chemosphere, 2002, 47(5):507 ~ 515.
- [ 3 ] 史春风, 李文东, 倪锋. 松花江干流哈尔滨段水环境[J]. 健康风险评估, 1999, 27(3): 75 ~ 76.
- [ 4 ] Gamo M, Oka T, Nakanishi J. A method evaluating population risks from chemical exposure: a case study concerning prohibition of chlordane use in Japan [J]. Regulatory Toxicology and Pharmacology, 1995, 21 (1): 151 ~ 157.
- [ 5 ] Gamo M, Oka T, Nakanishi J. Estimation of the loss of life expectancy from cancer risk exposure to carcinogens using a life table [J]. Environmental Science (in Japanese), 1996, 9 (1): 1 ~ 8.
- [ 6 ] Gamo M, Oka T, Nakanishi J. Ranking the risks of 12 major environmental pollutants that occur in Japan [J]. Chemosphere, 2003, 53(4): 277 ~ 284.
- [ 7 ] 国家统计局人口和社会科技统计司. 中国人口统计年鉴 2002 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2002.
- [ 8 ] 李连弟, 饶克勤, 张思维, 鲁凤珠, 邹小农. 中国 12 市县 1993 年 ~ 1997 年肿瘤发病和死亡登记资料统计分析 [J]. 中国肿瘤, 2002, (9): 497 ~ 507.
- [ 9 ] Gofman J W. Radiation-induced cancer from low dose exposure: an independent analysis [R]. San Francisco, USA: Committee for Nuclear Responsibility Books, 1990.