蔬菜中多效唑残留的膳食暴露与风险评估

兰珊珊，林昕，邹艳红，林涛，杨芳，刘宏程

（云南省农业科学院质量标准与检测技术研究所，农业部农产品质量安全风险评估实验室<昆明>，云南昆明 650223）

摘要：多效唑是蔬菜种植中常用的延缓类生长调节剂。为明确蔬菜中多效唑残留的膳食摄入风险，开展了马铃薯、番茄和茄子3个蔬菜品种的规范残留试验和市场抽样监测，并基于以上数据对蔬菜中多效唑残留进行了膳食摄入慢性风险和急性风险评估，提出了蔬菜中多效唑的推荐MRL值。结果表明，蔬菜中多效唑的国家估计每日摄入量为0.040~0.21 μg/(kg bw d)，仅占ADI的0.04%~0.21%，国家估计短期摄入量为0.070~0.95 μg/(kg bw d)，仅占ARfD的0.07%~0.95%，基于规范残留试验和市场监测得到的评估结果相一致，蔬菜中多效唑残留对我国各类人群的膳食摄入慢性风险极低，急性风险水平虽在不同人群和不同蔬菜品种中有差异，但整体风险也非常低，均在可接受范围内；蔬菜中多效唑残留的建议MRL值为0.5 mg/kg，该值对我国各类人群多效唑暴露的保护水平为12.5~50倍。

关键词：多效唑；风险评估；蔬菜；膳食暴露；最大残留限量；风险分析

文章篇号：1673-9078(2016)2-336-341 DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2016.2.049

Dietary Exposure and Risk Assessment of Paclobutrazol Residue in Vegetables

LAN Shan-shan, LIN Xin, ZOU Yan-hong, LIN Tao, YANG Fang, LIU Hong-cheng

(Institute of Agro-food Quality Standard & Testing Technology, Yunnan Academy of Agricultural Sciences / Laboratory of Quality & Safety Risk Assessment for Agro-products <Kunming>, Ministry of Agriculture, Kunming 650223, China)

Abstract: Paclobutrazol is a common growth retardant used in vegetable cultivation. In order to understand the risk associated with dietary intake of paclobutrazol residue in vegetables, a supervised residue trial as well as monitoring of the market for potato, tomato, and eggplant was conducted. Chronic risk assessment and acute risk assessment techniques for paclobutrazol residue in vegetables were developed based on the above experimental data, and the recommended maximum residue limit (MRL) for paclobutrazol in vegetables was proposed. The assessment results showed that the national estimated daily intake (NEDI) values of paclobutrazol in vegetables was in the range of 0.040~0.21 μg/(kg bw d) for all groups of Chinese residents, accounting only for 0.04%~0.21% of the acceptable daily intake (ADI). The national estimated short-term daily intake (NESTI) was between 0.070~0.95 μg/(kg bw d), accounting only for 0.07%~0.95% of the acute reference dose (ARfD). The assessment result for the supervised trials was consistent with the results from market monitoring. The chronic dietary intake of paclobutrazol residue in vegetables was very low for all groups of Chinese residents. Despite the variation between the different groups of people and different types of vegetables, the acute risk levels of paclobutrazol residue in vegetables was very low and within an acceptable range. The chronic and acute risk levels were both within an acceptable limit. The recommended paclobutrazol MRL in vegetables was 0.5 mg/kg, which was 12.5~50 times as much as the paclobutrazol exposure levels in all groups of Chinese residents.

Key words: paclobutrazol; risk assessment; vegetables; dietary exposure; maximum residue limit; risk analysis

植物生长调节剂在我国农作物生产加工中的应用越来越广泛，已成为提高经济效益必不可少的重要手段之一，但与其相关的食品安全问题也日益增多，担忧。其中，多效唑就是一种在我国农业生产中广泛使用的植物生长调节剂。多效唑（paclobutrazol）又名氯丁唑，是一种高效低毒的三唑类生长延缓剂，它能够降低赤霉素和吲哚乙酸的含量，增加乙烯的释放量，提高抗倒伏、抗旱等抗逆性，增加产量，改善作物品质[1]。目前多效唑在我国的登记作物包括水稻（育秧苗和直播苗）、小麦（冬小麦）、大豆、花生、油菜、观赏菊花和南方水果（荔枝、荔枝树、苹果和龙眼树），

收稿日期：2015-04-19

基金项目：云南省社会发展科技计划项目（2012CA005）；国家蔬菜产品质量安全风险评估专项（GJFX2014001）

作者简介：兰珊珊（1982-），女，硕士，助理研究员，研究方向为食品安全与风险评估

通讯作者：刘宏程（1975-），男，博士，研究员，研究方向为食品安全与分析

但是登记情况与实际生产应用情况有很大差别[2]。例如多效唑的登记作物中并无蔬菜品种，但实际调研和市场监测的数据表明，多效唑在我国蔬菜栽培中使用广泛，尤其是马铃薯、番茄、茄子等茄果类蔬菜。而多项研究也表明，多效唑应用在马铃薯、番茄和茄子等蔬菜生产中能缩短节间，增加座果，刺激幼果膨大，提高产量，增加收益[3~5]。

虽然我国也按照自身的登记管理规范对多效唑进行了评估，但未见有公开的多效唑膳食暴露与风险评估报告，加之我国并未在任何蔬菜品种上登记使用多效唑，因此相应的残留试验和市场监测数据就更为匮乏，更没有制定多效唑在蔬菜中的最大残留限量（MRL）。本文对马铃薯、番茄和茄子进行了两年一地的多效唑规范残留试验和市场抽样监测，结合国内外可以获得的多效唑毒理学数据、国内人群的膳食数据和@risk 定量风险评估专用软件，采用农药残留国家估计膳食摄入量和理论最大膳食摄入量评估方法，对我国各类人群蔬菜中的多效唑膳食摄入风险进行了评估。在此基础上提出了蔬菜中多效唑的最大残留限量（MRL）建议值，并对其安全性进行了评估。

1 材料与方法

1.1 田间残留试验设计

田间试验均根据 NY/T788-2004《农药登记试验准则》和《农药登记残留田间试验标准操作规程 SOP》规范进行。马铃薯试验于 2012-2013 年在云南省嵩明县进行，设高（375 mg/L）、中（225 mg/L）、低（150 mg/L）3 个处理浓度和空白对照区，共 4 个处理小区，每个处理设 3 次重复，每小区 30 m^2，于马铃薯初花期施药 1 次；番茄试验于 2013~2014 年在云南省安宁市进行，设高（200 mg/L）、中（100 mg/L）、低（50 mg/L）3 个处理浓度和空白对照区，共 4 个处理小区，每个处理设 3 次重复，每小区 30 m^2，2013 年试验于番茄初花期施药 1 次，2014 年试验低浓度施药 3 次、中浓度施药 2 次、高浓度施药 1 次，所有施药均在番茄结果前完成，每次施药间隔 7 d 以上；茄子试验于 2013~2014 年在云南省嵩明县进行，设高（300 mg/L）、中（200 mg/L）、低（100 mg/L）3 个处理浓度和空白对照区，共 4 个处理小区，每个处理设 3 次重复，每小区 30 m^2，2013 年试验于茄子初花期施药 1 次，2014 年试验低浓度施药 3 次、中浓度施药 2 次、高浓度施药 1 次，所有施药均在茄子结果前完成，每次施药间隔 7 天以上。以上试验施药方式均采用叶面喷施。分别于作物正常采收期、采收期前 14 d、采收期后 14 d 采集样品进行残留监测。供试药品为 15%多效唑可湿性粉剂，四川省兰月科技有限公司生产。

1.2 抽样方法

按照 NY/T 789-2004《农药残留分析样本的采样方法》和 NY/T 2103-2011《蔬菜抽样技术规范》规定执行。马铃薯、番茄和茄子产品的多效唑残留市场监测于 2013~2014 年进行，样品采自云南玉溪、楚雄、大理、曲靖、红河等州市农产品批发市场、农贸市场和超市。其中马铃薯样品 64 个，产地包括云南、贵州和广西；番茄样品 65 个，产地包括云南、山东、海南和广西；茄子样品 80 个，产地包括云南、河北、湖北和陕西。

1.3 检测方法

按照国家标准 GB/T 20769-2008《水果和蔬菜中 450 种农药及相关化学品残留量的测定 液相色谱—串联质谱法》的方法测定多效唑残留，检出限 0.1 μg/kg。

1.4 风险评估方法

1.4.1 基于规范残留试验数据的膳食摄入风险评估

1.4.1.1 长期膳食摄入和慢性风险评估

用公式（1）计算国家估算每日摄入量[6]

$$NEDI = \frac{\sum[STMR_i(或STMR-P_i)\times F_i]}{bw} \quad (1)$$

式(1)中，*NEDI* 为国家估算每日摄入量，单位 μg/kg bw/d; $STMR_i$ 值为第 *i* 类初级食用农产品的规范试验残留中值，单位 mg/kg; $STMR\text{-}P_i$ 为第 i 类加工食用农产品的规范试验残留中值，单位 mg/kg; F_i 为第 *i* 类食用农产品的消费量，单位 kg/d; *bw* 为人群平均体重，单位 kg。

多效唑的慢性摄入风险用国家估算每日摄入量占 ADI 的百分比表示，用公式（2）计算[7]

$$\%ADI = \frac{NEDI}{ADI}\times 100\% \quad (2)$$

式（2）中，*ADI* 为每日允许摄入量，单位 mg/kg bw/d，本文中多效唑的 *ADI* 值采用 JMPR（农药残留联席会议）2010 年确定的 0.1 mg/kg bw/d; %*ADI* 为占 ADI 的百分比。

当 %*ADI*≤100% 时，表示慢性风险可以接受，%*ADI* 越小，风险越小；当%*ADI*>100%时，表示有不可接受的慢性风险，%*ADI* 越大，风险越大[8]。

1.4.1.2 短期膳食摄入和急性风险评估

JMPR 根据评估产品的具体情况分为情形 1、情

形 2a、情形 2b、情形 3 共 4 种情景来计算农药短期膳食摄入量，本文评估的产品涉及 2 种情景。马铃薯、番茄在所有人群以及茄子在一般人群的评估符合下列情景，即产品的单个重量高于 25 g，但小于个体每顿饭对该食品的最大消耗量，混合样本残留数据不能反映该产品在一顿饭消耗的残留水平，所食用的产品可能含有比混合样本更高的残留，这种情景下用公式（3）计算国家估计短期膳食摄入量，用公式（5）计算安全界限[6]；而茄子在儿童（≤6 岁）中的评估适用如下情景，即产品的单个重量大于大份餐，该产品的一餐量可能含有高于混合样本的残留水平，该情景下用公式（4）计算国家估计短期摄入量，用公式（6）计算安全界限[6]。两种情景均用公式（7）计算急性风险[7]。

$$NESTI = \frac{U_e \times HR(或HR-P) \times v + (LP - U_e) \times HR(或HR-P)}{bw} \quad (3)$$

$$NESTI = \frac{LP \times HR(或HR-P) \times v}{bw} \quad (4)$$

式（3）式（4）中，*NESTI* 为国家估计短期摄入量，单位 μg/kg bw/d；*LP* 为可涵盖 97.5%食用者每天消耗的该类食品的量，单位 g/d；*HR* 为可食部分的混合样本中的最高残留量，单位 mg/kg；*HR-P* 为加工农产品的最高残留量，单位 mg/kg；U_e 为单个食品重量（可食部分计），单位 g；*v* 为变异因子，表示同一批产品中不同个体或同一个体中不同部位的残留变异，定义为 97.5 百分位点残留量与平均残留量的比值，参照 JMPR 建议取默认值 3[9]。

$$SM = \frac{ARfD \times bw}{U_e \times v + LP - U_e} \quad (5)$$

$$SM = \frac{ARfD \times bw}{LP \times v} \quad (6)$$

$$\%ARfD = \frac{NESTI}{ARfD} \times 100\% \quad (7)$$

式（5）、（6）、（7）中，*ARfD* 为急性参考剂量，单位 mg/kg bw/d，本文中多效唑的 *ARfD* 值采用欧盟 2011 年确定的 0.1 mg/kg bw/d[10]；%*ARfD* 表示占急性参考剂量的百分比；*SM* 表示安全界限，单位 mg/kg。

当 %*ARfD*≤100% 时，表示急性风险可以接受，%*ARfD* 越小，风险越小；当%*ARfD*>100%时，表示有不可接受的急性风险，%*ARfD* 越大，风险越大。当产品的多效唑残留量在安全界限以内时，急性风险可以接受；反之，则有不可接受的急性风险[7]。

1.4.2 基于市场抽样监测数据的膳食摄入风险评估

基于市场监测数据的膳食摄入风险评估的计算公式与基于规范残留试验数据的评估类似，只是在 *NEDI* 计算中用市场产品残留监测数据的平均值代替 $STMR_i$（或 $STMR\text{-}P_i$），在 *NESTI* 计算中用市场产品残留监测数据的 97.5 百分位点值代替 *HR*（或 *HR-P*）[11]。

利用@risk 定量风险评估专用软件对监测得到的马铃薯、番茄和茄子中多效唑的残留数据进行处理。在数据处理时假设监测的每个样品在其生产过程中都曾使用过多效唑，产品也都存在多效唑残留，因此，所有的未检出样品也都是有残留的，其残留量分别在 0 至检出限之间随机取值。同时，利用@risk 的模拟抽样功能，进行了 10000 次的模拟抽样，拟合出马铃薯、番茄和茄子中的多效唑残留分布，并根据残留分布计算残留的平均值和 97.5 百分位点值。

1.4.3 蔬菜中多效唑的推荐 MRL 值评价

以多效唑在蔬菜中的推荐 MRL 值作为农药残留浓度，用公式（8）计算出各类人群通过蔬菜摄入的多效唑暴露量（mg/kg bw/d），以每日暴露量占 ADI 的百分数%*ADI* 来表示风险的大小，将农药暴露量占 ADI 的百分数取倒数，称为安全系数[12]。

$$暴露量 = \frac{农药残留浓度 \times 消费量}{bw} \quad (8)$$

当%*ADI*≤100%，即安全系数≥1 时，表示 MRL 值可以接受，%*ADI* 越小，即安全系数越大，MRL 值的保护水平越高。

2 结果与讨论

2.1 基于规范残留试验数据的膳食摄入风险评估

表 1 多效唑在 3 种蔬菜上的规范残留试验结果

Table 1 Results from supervised trials of paclobutrazol in three types of vegetables

作物	施药剂量/(mg/L)	施药次数	间隔期*/d	规范残留试验中值STMR/(mg/kg)	最高残留量HR/(mg/kg)
马铃薯	225	1	32	0.022	0.023
番茄	100	2	45	0.0059	0.0066
茄子	200	2	38	0.0027	0.0045

注：*间隔期指从末次施药到正常采收期的天数。

规范残留试验中值和最高残留量是按农药最大允许使用方式使用后在可食部分的代表性残留量，本文的残留试验施药浓度是按推荐施用低浓度、推荐施

用高浓度（最大允许使用方式）和推荐施用高浓度的1.5~2 倍浓度来设计的，但因目前多效唑在蔬菜上的应用还没有相关的规范，因此 3 种作物的规范残留试验中值和最高残留量均采用终残留较高的处理方式下得到的残留值。结果表明，多效唑在 3 种蔬菜作物上的规范残留试验中值（STMR）为 0.0027~0.022 mg/kg，最高残留量（HR）为 0.0045~0.023 mg/kg（表 1）。

考虑到多效唑在蔬菜种植上虽主要用于马铃薯、番茄和茄子等茄果类品种，但在其它品种上也偶有使用，加之实际生产中农药使用的规范性相对较差，因此按照最大风险原则，假设所有的蔬菜都使用了多效唑，蔬菜中的残留量采用残留试验中最高的 STMR 值 0.022 mg/kg 来进行长期膳食摄入的慢性风险评估。结果显示，我国各类人群蔬菜中多效唑的国家估计每日摄入量（NEDI）为 0.10~0.21 μg/kg bw/d，仅占 ADI 的 0.1%~0.21%，说明多效唑的慢性膳食摄入风险很低（表 2）。

短期膳食摄入的结果显示，马铃薯、番茄和茄子 3 个蔬菜品种消费带来的多效唑短期膳食摄入量（NESTI）在 0.07~0.95 μg/kg bw/d，其中马铃薯对 6 岁以下儿童带来的多效唑短期摄入量最高，番茄对一般人群带来的多效唑短期摄入量最低。虽然不同蔬菜品种以及儿童与成人之间多效唑的国家估计短期摄入量有明显差异，但值都很低，仅占 ARfD 的 0.07%~0.95%，说明急性风险也很低，而且基于规范残留试验获得的多效唑残留水平均远低于各品种在一般人群和儿童中的安全界限（表 3）。

表 2 蔬菜中多效唑长期膳食摄入和慢性风险评估

Table 2 Long-term dietary intake and chronic risk assessment of paclobutrazol residue in vegetables

年龄	平均体重 bw[13]/kg	蔬菜消量[13]/kg	基于残留试验		基于市场监测	
			国家估计每日摄入量NEDI/(μg/kg bw/d)	占每日允许摄入量的百分比%ADI/%	国家估计每日摄入量NEDI/(μg/kg bw/d)	占每日允许摄入量的百分比%ADI/%
2~10	12.7~30.4	0.12~0.20	0.15~0.21	0.15~0.21	0.058~0.084	0.058~0.084
11~17	34.0~53.9	0.23~0.25	0.10~0.15	0.10~0.15	0.040~0.058	0.040~0.058
18~59	55.2~60.8	0.28~0.30	0.11	0.11	0.042~0.044	0.042~0.044
≥60	51.4~57.8	0.24~0.27	0.10	0.10	0.041	0.041

表 3 蔬菜中多效唑短期膳食摄入和急性风险评估

Table 3 Short-term dietary intake and acute risk assessment of paclobutrazol residue in vegetables

农产品	人群	体重bw /kg	大份餐LP[15] /(g/kg bw/d)	单位重 U_e[16]/g	安全界限SM /(mg/kg)	基于残留试验		基于市场监测	
						国家估计短期摄入量NESTI /(μg/kg bw/d)	占急性参考剂量百分比 %ARfD/%	国家估计短期摄入量NESTI /[μg/(kg bw d)]	占急性参考剂量百分比 %ARfD/%
马铃薯	一般人群	63.0[14]	12.24	156.2	5.81	0.40	0.40	0.34	0.34
	儿童(≤6岁)	15.5[13]	21.10	156.2	2.42	0.95	0.95	0.82	0.82
番茄	一般人群	63.0	7.41	120.6	8.90	0.070	0.070	0.11	0.11
	儿童(≤6岁)	15.5	11.40	120.6	3.71	0.18	0.18	0.27	0.27
茄子	一般人群	63.0	7.27	268.0	6.34	0.071	0.071	0.12	0.12
	儿童(≤6岁)	15.5	13.79	268.0	2.42	0.19	0.19	0.30	0.30

2.2 基于市场监测数据的膳食摄入风险评估

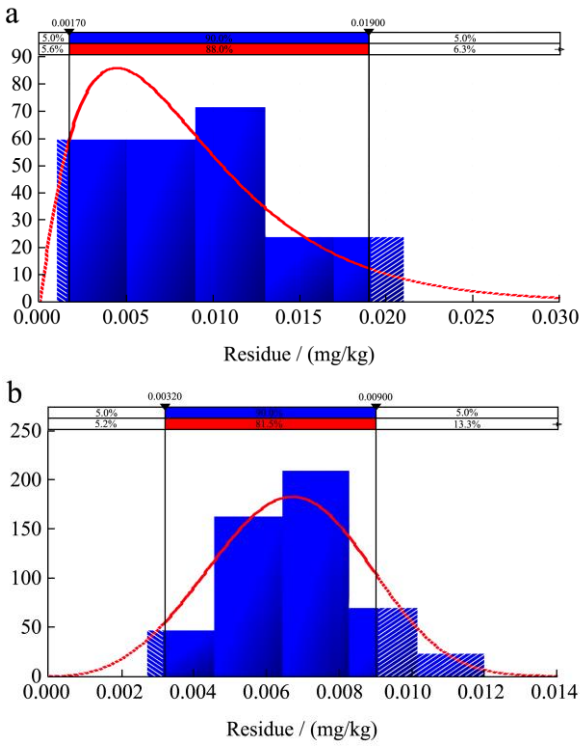
根据市场抽样监测得到的马铃薯、番茄和茄子中多效唑的残留结果，利用@risk 拟合得到马铃薯、番茄和茄子中多效唑的残留分布，结果如图 1 所示。马铃薯、番茄和茄子中多效唑残留的均值分别为 0.0086 mg/kg、0.0067 mg/kg 和 0.0041 mg/kg，97.5 百分位点值分别为 0.020 mg/kg、0.010 mg/kg 和 0.0073 mg/kg（图 1）。

虽然目前多效唑主要应用于马铃薯、番茄和茄子等茄果类蔬菜，但在其他蔬菜品种中也偶有使用。本文按照最大风险原则，假设所有蔬菜在生产过程中均使用了多效唑，并在产品中有残留，因此在进行长期膳食摄入和慢性风险评估时，市场产品残留监测数据的平均值采用 3 个监测品种中残留量最高的马铃薯的残留均值。结果表明，我国各类人群蔬菜中多效唑国家估计每日摄入量在 0.040~0.084 μg/kg bw/d 之间，仅占 ADI 的 0.040%~0.084%（表 2），表明我国各类人群多效唑的慢性膳食摄入风险非常低。

国家估计短期摄入量和急性风险评估采用 97.5

百分位点值进行计算。结果表明，多效唑的国家估计短期摄入量为 0.11-0.82 μg/kg bw/d，仅占 ARfD 的 0.11%~0.82%（表 3）。结果与基于规范残留试验得到的评估结果相一致，虽然不同品种的评估结果有差异，且多效唑对儿童（≤6 岁）的风险普遍高于一般人群，但总体来说多效唑的急性膳食摄入风险非常低。各蔬菜品种 97.5 百分位点的多效唑残留量也均远低于安全界限。

2.3 蔬菜中多效唑的推荐 MRL 值及其风险分析



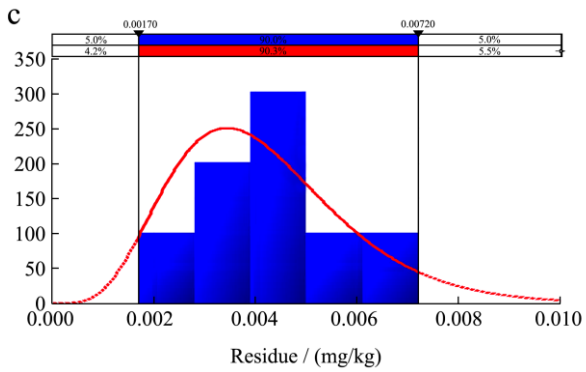


图 1 基于市场监测数据的蔬菜中多效唑残留量的模拟分布

Fig.1 Simulated distribution of paclobutrazol residue in vegetables based on market monitoring

注：a-马铃薯，b-番茄，c-茄子。

目前我国仅对苹果、荔枝、花生仁、油菜籽、菜籽油、稻谷和小麦等 7 种作物和食品制定了多效唑 MRL 值，除油菜籽的 MRL 为 0.2 mg/kg 外，其余均为 0.5 mg/kg[17]。欧盟规定苹果、香蕉、芒果、柑橘等水果中多效唑的 MRL 为 0.5 mg/kg，日本和韩国也规定苹果中多效唑的 MRL 为 0.5 mg/kg，而澳大利亚则规定芒果和枇杷中的多效唑 MRL 为 1 mg/kg[17]。根据规范残留试验数据及市场监测结果，参照国内外标准并结合我国实际，建议蔬菜中多效唑的最大残留限量（MRL）为 0.5 mg/kg（表 4）。

以 0.5 mg/kg 作为蔬菜中多效唑的残留浓度计算各类人群的多效唑暴露量，结果表明各类人群蔬菜中多效唑的暴露量为 0.0020~0.0080 mg/kg，仅占 ADI 的 2.0%~8.0%，安全系数在 12.50~50.00 之间，说明蔬菜中多效唑的 MRL 值设定为 0.5 mg/kg 其风险水平是完全可以接受的，对各类人群的保护水平达 12.5-50 倍（表 4）。

表 4 蔬菜中多效唑推荐 MRL 值风险分析

Table 4 Risk analysis of recommended paclobutrazol MRL in vegetables

年龄	平均体重 bw/kg	蔬菜消费量 /kg	推荐MRL /(mg/kg)	暴露量 /[mg/(kg bw d)]	%ADI /%	安全系数	分析结论
2~10	12.7~30.4	0.12~0.20	0.5	0.0020~0.0080	2.0~8.0	12.50~50.00	可以接受
11~17	34.0~53.9	0.23~0.25		0.0021~0.0037	2.1~3.7	27.03~47.62	可以接受
18~59	55.2~60.8	0.28~0.30		0.0023~0.0027	2.3~2.7	37.04~43.48	可以接受
≥60	51.4~57.8	0.24~0.27		0.0021~0.0027	2.1~2.7	37.04~47.62	可以接受

2.4 风险评估的不确定性因素分析

虽然多效唑主要在马铃薯、番茄和茄子等茄果类蔬菜中应用，但也不排除在其它蔬菜品种生产中使用，而我们仅进行了以上 3 个蔬菜品种的规范残留试验和市场抽样监测。为了弥补残留数据的不确定性，在对蔬菜中多效唑残留进行长期膳食摄入风险评估中采用了最大风险原则，即假设所有的蔬菜在种植过程中都使用了多效唑，基于规范残留试验和市场监测数据的国家估计每日摄入量均采用最高的 STMR 值和残留均值计算。因此，本文对于蔬菜中多效唑的慢性膳食摄入风险评估是偏于保守的，但由于偏于保守的评估结果仍显示蔬菜中多效唑的慢性风险极低，因此对最终结论无影响。另一方面，我们在进行多效唑长期膳食

摄入和慢性风险评估时采用的各类人群平均体重和蔬菜消费量来源于卫生部在 2002 年开展的中国居民营养与健康状况调查，这是目前可以获得的最新最权威的中国居民膳食情况和身体条件的数据。但自 2002 年以来，我国居民的身体条件和膳食结构肯定发生了一定的变化，但蔬菜中多效唑的长期膳食摄入评估采用的食物消耗量是所有蔬菜的总量，而可能存在多效唑残留的只是其中的部分品种，因此完全可以抵消因消费量改变而造成低估风险的可能，对最终评估结果无影响。此外，目前我国尚缺乏可用于短期膳食摄入风险评估的大份餐调查数据，本文采用全球环境监测系统/食品污染监测与评估计划（GEMS/Food）提供的大份餐数据中最大的用于蔬菜中多效唑的短期膳食摄入风险评估。因此，本文选用的大份餐数据与中国居民的实际情况可能会有所差异，且可能是偏于高估的，但基于此大份餐数据得到的蔬菜中多效唑的急性风险也非常低，因此对最终评估结果基本无影响。

3 结论

3.1 蔬菜中多效唑残留在我国各类人群中的慢性风险和急性风险水平都是非常低的，国家估计每日摄入量为 0.10~0.21 μg/kg bw/d 和 0.040~0.084 μg/kg bw/d，仅占 ADI 的 0.1%~0.21%和 0.040%~0.084%，国家估计短期摄入量仅为 0.07~0.95 μg/kg bw/d 和 0.11~0.82 μg/kg bw/d，只占 ARfD 的 0.07%~0.95%和 0.11%~0.82%，虽然在不同人群和品种之间有差异，且蔬菜中多效唑残留对儿童（≤6 岁）的急性风险要大于对普通人群，但总体来说风险水平都很低；规范残留试验和市场监测得到的多效唑残留水平也远低于安全界限；根据试验结果并参照国内外相关标准，建议蔬菜中多效唑的最大残留限量（MRL）设定为 0.5 mg/kg，该值对我国各类人群蔬菜中多效唑残留暴露量均在可接受范围，保护水平达 12.5~50 倍。

3.2 综上所述，只要按照规范使用，蔬菜中多效唑的残留风险均在可接受范围内。因此应尽快制定多效唑在相应蔬菜品种中的使用规程，规范多效唑在蔬菜生产上的应用，对其的风险管理应着重于对滥用的监管。

参考文献

[1] Kaushal K Upreti, Y T N Reddy, S R Shivv Prasad, et al. Hormonal changes in response to paclobutrazol induced early flowering in mango cv. Totapuri [J]. Scientia Horticulturae, 2013, 150(2): 414-418

[2] 史晓梅.多效唑等 5 种植物生长调节剂检测技术及多效唑在桃上的残留研究[D].北京:中国农业科学院,2012
SHI Xiao-mei. Study on testing technology for five plant growth regulators and dynamics of paclobutrazol residues in peach [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2012

[3] 秦丽,张月辰.不同浓度多效唑对大棚马铃薯生长调控的效果[J].贵州农业科学,2010,38(4):85-87
QIN Li, ZHANG Yue-chen. Effect of different paclobutrazol concentration on growth of potato planted in greenhouse [J]. Guizhou Agricultural Sciences, 2010, 38(4): 85-87

[4] 蔡华,赵荣.番茄应用多效唑的效应[J].安徽农业技术师范学院学报,2000, 14(3): 33-35
CAI Hua, ZHAO Rong. Influence of pacolbutrazol on tomato [J]. Journal of Anhui Agro technical Teachers College, 2000, 14(3): 33-35

[5] 成玉富.多效唑对茄果类蔬菜生长发育的影响[J].长江蔬菜,1990,(6):37-39
CHENG Yu-fu. Effect of pacolbutrazol on growth and development of solanaceous fruit vegetable [J]. Journal of Changjiang Vegetables, 1990, (6): 37-39

[6] FAO. Submission and evaluation of pesticide residues data for the estimation of maximum residue levels in food and feed. Rome: FAO, 2009: 123-133

[7] 中国农业科学院农业质量标准与检测技术研究所.农产品质量安全风险评估:原理、方法和应用[M].北京:中国标准出版社,2007
Institute of Quality Standards and Testing Technology for Agro-Products, Chinese Academy of Agricultural Science. Risk assessment for quality and safety of agro-foods: principles, methodologies and applications [M]. Beijing: Standards Press of China, 2007

[8] 吴培,许喜林,张毅.食品安全风险分析与应用[J].现代食品科技,2006,22(4):200-203
WU Pei, XU Xi-lin, ZHANG Yi. Principle and application of food safety risk analysis [J]. Modern Food Science and Technology, 2006, 22(4): 200-203

[9] Hamilton D, Ambrus A, Dieterle R, et al. Pesticide residues in food-acute dietary exposure [J]. Pest Management Science, 2004, 60(4): 311-339

[10] European Commission. Pesticides residues [DB/OL]. (2011-08-30) [2014-11-27]. http://ec. Europa.eu/sanco_pesticides/public/index.cfm

[11] 张志恒,汤涛,徐浩,等.果蔬中氯吡脲残留的膳食摄入风险评估[J].中国农业科学,2012,45(10):1982-1991
ZHANG Zhi-heng, TANG Tao, XU Hao, et al. Dietary intake risk assessment of forchlorfenuron residue in fruits and

vegetables [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2012, 45(10): 1982- 1991

[12] 吴雪原.茶叶中农药的最大残留限量及风险评估研究[D].合肥:安徽农业大学,2007
WU Xue-yuan. Studies on maximum residue limits for pesticides in tea and relative risk assessment [D]. Hefei, Anhui Agricultural University, 2007

[13] 金水高.中国居民营养与健康状况调查报告之十：2002 年营养与健康状况数据集[R].北京:人民卫生出版社, 2008
JIN Shui-gao. The tenth report of nutrition and health status for China residents: nutrition and health status of annual 2002 [R]. Beijing: People's Medical Publishing House, 2008

[14] 白新明.蔬菜农药残留对人体健康急性风险概率评估研究[J].食品科学,2014,35(5):208-212
BAI Xin-ming. Research on acute risk probability assessment on the pesticide residues in vegetables to human health [J]. Food Science, 2014, 35(5): 208-212

[15] GEMS/food. Highest reported 97.5th percentile consumption figures (eaters only) for various commodities by the general population and children ages 6 and under [DB/OL] (2008-04)[2014-12-01].http://www.who.int/foodsafety/chem/en/acute_hazard_db1.pdf

[16] GEMS/food. Unit weight of commodities [DB/OL]. (2003-05-01)[2014-12-01]. http://www.who.int/food safety/chem/acute_hazard_db3.pdf

[17] IAMA. Maximum residue limits database of China [DB/OL]. (2012-05-29)[2014-12-01]. http://202.127.42.84/tbt-sps/mrlsdb/query Mrlsdb.do

现代食品科技