

专家论坛专栏

编者按：“确保国家粮食安全，把中国人的饭碗牢牢端在自己手中”是我国发展现代农业的首要任务。本期栏目特邀专家对比分析了CAC、欧盟、美国与我国对粮食中真菌毒素、重金属残留限量标准的差异性。期待为公众科学认识我国粮食质量安全起到积极的推动作用，为修订我国粮食质量标准提供参考和借鉴。

(栏目策划：李 宁)

doi:10.3969/j.issn.2095-6002.2019.01.002

文章编号:2095-6002(2019)01-0010-06

引用格式:尚艳娥,杨卫民. CAC、欧盟、美国与中国粮食中真菌毒素限量标准的差异分析[J]. 食品科学技术学报,2019,37(1):10-15.



SHANG Yan'e, YANG Weimin. Variation analysis of cereals mycotoxin limit standards of CAC, EU, USA, and China[J]. Journal of Food Science and Technology, 2019,37(1):10-15.

CAC、欧盟、美国与中国粮食中真菌毒素 限量标准的差异分析

尚艳娥¹, 杨卫民²

(1. 北京市粮油食品检验所, 北京 100162; 2. 国家粮食局标准质量中心, 北京 100037)

摘要:真菌毒素是真菌产生的毒性次级代谢产物,危害较大的有黄曲霉毒素、赭曲霉毒素A、单端孢霉烯族毒素、玉米赤霉烯酮、伏马毒素和麦角类生物碱等。制定真菌毒素的限量标准是真菌毒素一级预防的主要措施。通过对CAC、欧盟、美国和中国粮食中真菌毒素限量标准的对比分析,找出我国现行食品安全国家标准中有关粮食真菌毒素污染控制指标存在的差异,对修订我国粮食中真菌毒素含量的限量标准提供参考和借鉴。

关键词:粮食;真菌毒素;限量标准;差异分析;黄曲霉毒素

中图分类号: TS210.2

文献标志码: A

真菌毒素是真菌产生的毒性次级代谢产物,与真菌本身的生长发育无关,然而并不是所有代谢物都有毒。一种真菌可能产生多种毒素,多种真菌可能产生同一种毒素^[1]。研究发现,黄曲霉毒素、赭曲霉毒素A、单端孢霉烯族毒素、玉米赤霉烯酮和伏马毒素等对人体健康危害较大,其中黄曲霉毒素是天然物质中致癌性最强的毒素,也是污染农产品最为普遍的一种真菌毒素。根据联合国粮食和农业组织(Food and Agricultural Organization, FAO)的调查,

全球每年约有25%的粮食受真菌毒素的污染,约有2%的农作物因污染严重而失去利用价值^[2]。这些真菌毒素会通过被污染的谷物、饲料和由这些饲料喂养的动物所提供的动物性食品进入我们的食物链,从而对人畜表现出致癌性、遗传毒性和致畸性^[3]。因此,制定真菌毒素的限量标准是真菌毒素一级预防的主要措施,世界上很多国家和地区均对粮食中主要真菌毒素规定了限量标准。本文通过横向比较,对比分析国际食品法典委员会(Codex Ali-

收稿日期:2018-10-11

基金项目:粮食公益性行业科研专项(201513006)。

第一作者:尚艳娥,女,教授级高级工程师,主要从事粮油食品安全方面的研究。

mentarius Commission, CAC)、欧盟、美国与我国粮食中真菌毒素的限量指标,结合粮食行业多年的原粮卫生调查工作,提出我国现行粮食中真菌毒素限量标准存在的主要问题,以期对修订我国粮食中真菌毒素含量的限量标准提供参考和借鉴。

1 黄曲霉毒素的限量标准对比

FAO 和世界卫生组织(World Health Organization, WHO)的食品添加剂联席专家委员会(Joint FAO/WHO Expert Committee on Food and Additives, JECFA)在第31次会议上首次评价了黄曲霉毒素,

并于第46、49、56和68次会议上反复评估,先后得出了黄曲霉毒素是可能导致人类肝癌的强致癌物、乙肝病毒可能会加强黄曲霉毒素的致癌力以及应将膳食中黄曲霉毒素的摄入量降低到尽可能低的水平来尽可能减少黄曲霉毒素对人类的危害等结论,但是由于缺乏强有力的黄曲霉毒素致人类肝癌的数据资料,至今尚未提出黄曲霉毒素的暂定每周最大耐受摄入量或暂定每日最大耐受摄入量。许多国家都规定了食品中黄曲霉毒素的限量。表1列出了CAC^[4]、欧盟^[5]、美国^[6]和我国^[7]对于粮食中黄曲霉毒素的限量。

表1 各组织或国家粮食中黄曲霉毒素限量
Tab.1 Aflatoxin limits in cereals from different organizations and countries

组织或国家	食品名称	μg/kg	
		黄曲霉毒素 B ₁	黄曲霉毒素 B ₁ 、B ₂ 、G ₁ 、G ₂ 总量
CAC	花生	-	15.0
欧盟	花生和其他油料(不直接用于人类消费或作为食品原料,制油用除外)	8.0	15.0
	花生和其他油料及其制品(直接供人食用或用于食品原料,制油用除外)	2.0	4.0
	谷物及谷物制品(除下列标 a 的食物)	2.0	4.0
	在供人食用或用于食品的一种添加成分之前,将进行分级或其他物理处理的玉米和稻谷 ^a	5.0	10.0
	婴幼儿食用的谷类加工食品 ^a	0.10	-
	特殊医疗用途的婴儿膳食食品 ^a	0.10	-
美国	所有食品,除了牛奶	-	20.0
中国	玉米、玉米面(渣、片)及玉米制品	20	-
	稻谷、糙米、大米	10	-
	谷物及其制品		
	小麦、大麦、其他谷物	5.0	-
	小麦粉、麦片、其他去壳谷物	5.0	-
	花生及其制品	20	-
	油脂及其制品		
	植物油脂(花生油、玉米油除外)	10	-
	花生油、玉米油	20	-
	特殊膳食食品		
婴幼儿配方食品、特殊医学用途配方食品、运动营养食品(以大豆及大豆蛋白制品为主要原料)	0.5	-	
婴幼儿谷类辅助食品	0.5	-	
辅食营养补充品、孕妇及乳母营养补充食品(只限于含谷类、坚果和豆类的产品)	0.5	-	

“—”为未限定。

从表1可以看出,我国与国际组织和国家的差异主要表现在:1)我国规定了黄曲霉毒素 B₁在粮食中的限量。CAC 和美国的限量是以黄曲霉毒素 B₁、B₂、G₁、G₂之和计,而欧盟不仅包含了单独的黄曲霉毒素 B₁的限量,也包括了黄曲霉毒素 B₁、B₂、G₁、G₂之和的限量。目前关于按照黄曲霉毒素 B₁、

B₂、G₁、G₂之和的限量比黄曲霉毒素 B₁的限量更能保护公众健康的观点还存在较大的争议,因为从毒性和污染水平方面看黄曲霉毒素 B₁是最重要的一种黄曲霉毒素,而且一般来说黄曲霉毒素 B₂、G₁、G₂浓度之和低于黄曲霉毒素 B₁。2)我国明确了真菌毒素在原粮和成品粮中的限量,但是原粮

和成品粮均采用相同的限量指标。欧盟对于可能含有较高水平黄曲霉毒素的玉米和花生,在进行分级和其他物理处理之前允许其黄曲霉毒素的含量较高(黄曲霉毒素 B₁的限量分别为玉米 5.0 μg/kg,花生 8.0 μg/kg),对于经过加工或直接食用的玉米和花生,黄曲霉毒素 B₁的限量降低为 2.0 μg/kg。3) 从最易感染黄曲霉毒素的花生来看,我国制定的限量值最为宽松,欧盟最为严格;对于不直接用于人类消费或作为食品原料的花生,我国为欧盟的 2.5 倍;直接供人食用或用于食品原料的花生,我国为欧盟的 10 倍。4) 对于特殊敏感人群例如婴幼儿食用的谷类加工食品,欧盟规定黄曲霉毒素 B₁不得超过 0.10 μg/kg,我国规定不得超过 0.5 μg/kg,为欧盟的

5 倍。

2 赭曲霉毒素 A 的限量标准对比

赭曲霉毒素 A 致癌机理尚不清楚。JECFA 在第 37 次会议首次评价了赭曲霉毒素 A,设立了赭曲霉毒素 A 的暂定每周耐受摄入量(provisional tolerated weekly intake, PTWI)为 112 ng/(kg·bw),第 44 次会议上再次评价了赭曲霉毒素 A,考虑到一些新的数据和研究结果,将 PTWI 降低到 100 ng/(kg·bw)。表 2 列出了 CAC、欧盟、美国和中国对于粮食中赭曲霉毒素 A 的限量,其中美国对粮食中赭曲霉毒素 A 没有限定。

表 2 各组织或国家粮食中赭曲美毒素 A 限量

Tab. 2 Ochratoxin A limits in cereals from different organizations and countries

组织或国家	食品名称	μg/kg
CAC	小麦、大麦和黑麦原粮	5.0
	未加工的谷物	5.0
欧盟	由未加工的谷物制备的所有产品,包括加工的谷物制品及直接供人食用的谷物(下列标 a 的除外)	3.0
	供婴幼儿食用的谷类加工食品和婴儿食品 ^a	0.50
	特殊医疗用途的膳食食品,尤其是婴儿 ^a	0.50
美国	-	-
	谷物	5.0
中国	谷物	5.0
	谷物碾磨加工品	5.0

“—”为未限定。

从表 2 可以看出:1) 我国原粮中赭曲霉毒素 A 的限量与 CAC 和欧盟一致。2) CAC 没有规定成品粮的限量要求;欧盟对于经过加工的谷物和直接供人食用的谷物制品提出了 3.0 μg/kg 的限量,对供婴幼儿食用的谷类加工食品和婴儿食品以及特殊医疗用途的膳食食品尤其是婴儿食品更加严格;我国规定的成品粮限量与原粮一致,没有规定以谷类为原料的婴幼儿食品和特殊医疗用途的膳食食品。

3 脱氧雪腐镰刀菌烯醇的限量标准对比

在现有毒理学数据和人群暴露量数据的基础上,2001 年 JECFA 第 56 次会议首次对脱氧雪腐镰刀菌烯醇进行了评估。根据毒理学实验结果,JECFA 提出脱氧雪腐镰刀菌烯醇的暂定每日最大耐受摄入量(provisional maximum tolerable daily intake, PMTDI)为 1 μg/(kg·bw)。2010 年 JECFA 第 72 次会议维持了脱氧雪腐镰刀菌烯醇的 PMTDI 值为 1 μg/(kg·bw),包括 3-乙酰基衍生物和 15-乙酰

基衍生物。美国食品药品监督管理局(Food and Drug Administration, FDA)认为由于常规的粮食加工过程和一些其他的加工方式会显著降低小麦最终产品中脱氧雪腐镰刀菌烯醇的含量,因此 FDA 只提出了供人食用的最终小麦产品中脱氧雪腐镰刀菌烯醇的建议限量为 1 000 μg/kg。表 3 列出了 CAC、欧盟、美国^[8]和我国粮食中脱氧雪腐镰刀菌烯醇的限量。

从表 3 可看出:1) CAC、欧盟和我国均对小麦、玉米等原粮中的脱氧雪腐镰刀菌烯醇进行了限定,但 CAC 和欧盟的限定值均要高于我国,其中 CAC 的限量值比我国高 1 倍。2) CAC、欧盟和我国均对以小麦、玉米等为原料制成的面粉、粗粉或麦片等成品粮进行了限定,CAC 的限定值与我国相同,均为 1 000 μg/kg;欧盟对以小麦、玉米等为原料制成的供人直接食用的面粉、粗粉或麦片的限定值为 750 μg/kg,比我国要严;美国 FDA 只提出了供人食用的最终小麦产品如面粉、麸皮和胚芽中脱氧雪腐镰刀菌

表3 各组织或国家粮食中脱氧雪腐镰刀菌烯醇限量

Tab. 3 Deoxynivalenol limits in cereals from different organizations and countries

组织或国家	食品名称	脱氧雪腐镰刀菌烯醇 μg/kg
CAC	小麦、玉米、大麦	2 000
	以小麦、玉米、大麦为原料制成的面粉、粗粉或麦片	1 000
	婴幼儿谷物食品(以干基计)	200
欧盟	未加工的谷物,不包括杜伦小麦、燕麦和玉米	1 250
	未加工的杜伦小麦、燕麦	1 750
	未加工的玉米,不包括用于湿磨法处理的玉米	1 750
	供人直接食用的谷物,作为最终产品销售供人直接食用的面粉,麸皮和胚芽(除下列标注 a 的食物)	750
	供婴幼儿食用的加工的婴幼儿谷类食品 ^a	200
	粒径大于 500 μm 的玉米粉及其他不直接供人类食用的粒径大于 500 μm 的玉米研磨制品 ^a	750
	粒径小于等于 500 μm 的玉米粉及其他不直接供人类食用的粒径小于等于 500 μm 的玉米研磨制品 ^a	1 250
美国	供人食用的最终小麦产品,如面粉,麸皮和胚芽	1 000
中国	玉米、玉米面(渣、片)	1 000
	大麦、小麦、麦片、小麦粉	1 000

“—”为未限定。

烯醇的建议限量为 1 000 μg/kg, 与我国相同。3) 对于特殊敏感人群, 例如婴幼儿, CAC 和欧盟对其谷类辅助食品均制定了更加严格的限量要求, 美国和我国没有限量要求。4) CAC 规定的脱氧雪腐镰刀菌烯醇的限量中包含脱氧雪腐镰刀菌烯醇的 3-乙酰基衍生物和 15-乙酰基衍生物; 欧盟认为脱氧雪腐镰刀菌烯醇的 3-乙酰基衍生物和 15-乙酰基衍生物在粮食中的含量一般较低, 可以忽略不计; 美国和我国目前仍然是以单独的脱氧雪腐镰刀菌烯醇为限量。

4 玉米赤霉烯酮的限量标准对比

玉米赤霉烯酮是一种非固醇类具有雌激素性质

的热稳定型真菌毒素, α-玉米赤霉烯醇是其在哺乳动物体内的一种代谢产物。JECFA 在第 26、27、32 次会议上多次对 α-玉米赤霉烯醇进行过评价, 并提出了其每日允许摄入量 (acceptable daily intake, ADI) 为 0 ~ 0.5 μg/(kg·bw)。1999 年第 53 次会议上才评估玉米赤霉烯酮, 确定了玉米赤霉烯酮的 PMTDI 为 0.5 μg/(kg·bw), 玉米赤霉烯酮及其代谢产物的总摄入量不应超过此值。CAC 和美国未制定谷物中玉米赤霉烯酮的限量标准, 欧盟和我国的规定见表 4。

从表 4 可看出, 我国与欧盟的差异主要表现在:

1) 欧盟除单独规定玉米外, 对小麦、稻谷等未加工

表4 各组织或国家粮食中玉米赤霉烯酮限量

Tab. 4 Zearalenone limits in cereals from different organizations and countries

组织或国家	食品名称	玉米赤霉烯酮 μg/kg
CAC	—	—
欧盟	未加工谷物, 不包括玉米	100
	未加工的玉米, 不包括用于湿磨法处理的未加工玉米	350
	供人直接食用的谷物, 作为最终产品销售供人直接食用的谷物粉, 麸皮和胚芽(除下列标注 a 的食物)	75
	供人类直接食用的玉米, 玉米小吃, 玉米早餐食品 ^a	100
	供婴幼儿食用的加工的谷物食品, 不包括玉米类食品 ^a	20
	供婴幼儿食用的加工玉米食品 ^a	20
	粒径大于 500 μm 的玉米粉及其他不直接供人类食用的粒径大于 500 μm 的玉米研磨制品 ^a	200
	粒径小于等于 500 μm 的玉米粉及其他不直接供人类食用的粒径小于等于 500 μm 的玉米研磨制品 ^a	300
美国	—	—
中国	小麦, 小麦粉	60
	玉米, 玉米面(渣、片)	60

“—”为未限定。

的原粮统一规定为不超过 100 $\mu\text{g}/\text{kg}$,我国仅规定了玉米和小麦 2 个粮种。2) 欧盟对原粮和成品粮分别制定了限量值,且均高于我国。其中小麦中的限定值是我国的 1.7 倍;小麦粉是我国的 1.25 倍;根据用途不同,欧盟对玉米进行了更加详细的区分,如饲料用和工业用玉米,限量值为 350 $\mu\text{g}/\text{kg}$,供人直接食用的玉米和玉米粉为 100 $\mu\text{g}/\text{kg}$,均要比我国宽松。我国没有区分原粮和成品粮的限量差异;玉米收购没有区分用途,统一按照 60 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 的限量值执行,而库存粮食绝大部分不是用于直接食用。3) 对于婴幼儿这一特殊敏感人群,欧盟制定了更加严格的限量要求(20 $\mu\text{g}/\text{kg}$),我国没有限量要求。

5 伏马毒素的限量标准对比

JECFA 在 2001 年第 56 次会议首次对伏马毒素

B_1 (FB_1)、伏马毒素 B_2 (FB_2)、伏马毒素 B_3 (FB_3) 进行了风险评估。由于现有多数评估数据是关于伏马毒素 B_1 的,摄入伏马毒素的主要途径是食用玉米,委员会将评估集中在玉米及其制品的分析和摄入研究上,并进行伏马毒素 B_1 的毒理学研究。委员会基于伏马毒素的最低可观察到的效应水平 (lowest observable effect level, LOEL) 为 0.2 mg/kg 以及 100 的安全因子,设定伏马毒素 B_1 、 B_2 、 B_3 单独或联合的 PMTDI 为 2 $\mu\text{g}/(\text{kg}\cdot\text{bw})$ ^[3]。表 5 列出了 CAC、欧盟和美国^[9]的限量要求,我国目前没有限量要求,但已列入风险评估项目中。

玉米作为最易感染伏马毒素的粮种,早已引起 CAC、欧盟、美国等世界各国或组织的重视。我国也有很多研究团队关注到伏马毒素的污染问题。王燕^[10]对 2013—2014 年度山东省 13 个玉米主产区

表 5 各组织或国家粮食中伏马毒素限量

Tab. 5 Fumonisin limits in cereals from different organizations and countries

组织或国家		食品名称	FB_1 、 FB_2 总量	FB_1 、 FB_2 、 FB_3 总量
CAC		玉米	4000	—
		玉米粉和玉米渣	2000	—
欧盟		未加工的玉米,不包括用于湿磨法处理的未加工玉米	4000	—
		供人直接食用的玉米和玉米制品	1000	—
		玉米早餐与玉米小吃	800	—
		供婴幼儿食用的玉米食品和婴幼儿食品	200	—
		粒径大于 500 μm 的玉米粉及其他不直接供人类食用的粒径大于 500 μm 的玉米研磨制品	1 400	—
美国		粒径小于等于 500 μm 的玉米粉及其他不直接供人类食用的粒径小于等于 500 μm 的玉米研磨制品	2 000	—
		脱胚的干磨玉米制品(脂肪质量分数 < 2.25%,干基重)	—	2 000
		制爆米花的净玉米	—	3 000
中国		部分脱胚的干磨玉米制品(脂肪质量分数 \geq 2.25%,干基重),干磨玉米麸皮,用于生产粗玉米粉的净玉米	—	4 000
		—	—	—

“—”为未限定。

收获期和储藏期共 520 批次玉米样品进行真菌毒素检测,发现伏马毒素污染最为严重,阳性检出率高达 92.5%, FB_1 、 FB_2 、 FB_3 总量的平均含量为 2528.23 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。

6 结论与展望

目前,我国已经建立了黄曲霉毒素、赭曲霉毒素 A、脱氧雪腐镰刀菌烯醇和玉米赤霉烯酮共 4 种真

菌毒素在粮食中的限量标准,在真菌毒素种类和粮食种类上正在逐渐完善,但是问题仍普遍存在,如原粮和成品粮限量值未加区分,导致原粮控制偏严、成品粮控制偏松;对特殊人群的谷类加工食品限量值未加规定或规定宽松;玉米用途区分模糊;伏马毒素迟迟未能纳入监管体系等现象。与 CAC、欧盟、美国等组织和国家的真菌毒素标准还存在一定的差距,故需要进一步开展符合我国实际的膳食暴露评

估研究,制定更加合理的真菌毒素限量,以便更好地保护我国居民健康和维持社会经济发展。

参考文献:

- [1] 尚艳娥. 真菌毒素检测技术研究进展[J]. 北京工商大学学报(自然科学版), 2012, 30(4): 15-18.
SHANG Y E. Research progress of mycotoxin detection technologies[J]. Journal of Beijing Technology and Business University (Natural Science Edition), 2012, 30(4): 15-18.
- [2] 李美琴. 中欧粮食中真菌毒素控制的比较研究[J]. 粮食与饲料工业, 2013(9): 63-67.
LI M Q. Comparison study on EU-China mycotoxin management in grain[J]. Cereal & Feed Industry, 2013(9): 63-67.
- [3] 杜政, 唐瑞明. 粮食中真菌毒素标准, 法规与检验[M]. 长沙: 湖南科学技术出版社, 2013: 2-33.
DU Z, TANG R M. Standards, regulations and tests of mycotoxins in grain [M]. Changsha: Hunan Science & Technology Press, 2013: 2-33.
- [4] FAO/WHO. General standard for contaminants and toxins in food and feed: CXS 193—1995[EB/OL]. [2018-10-10]. <http://down.foodmate.net/standard/sort/11/3329.html>.
- [5] Commission of the European Communities. Setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs: EC 1881/2006 [EB/OL]. [2018-10-10]. <http://law>.

- foodmate.net/show-170518.html.
- [6] FDA. Draft guidance for industry: action levels for poisonous or deleterious substances in human food and animal feed [EB/OL]. [2018-10-10]. <https://www.fda.gov/Food/GuidanceRegulation/GuidanceDocumentsRegulatoryInformation/ChemicalContaminantsMetalsNaturalToxinsPesticides/ucm077969.htm>.
- [7] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中真菌毒素限量: GB 2761—2017 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- [8] FDA. Advisory levels for deoxynivalenol (DON) in finished wheat products for human consumption and grains and grain by-products used for animal feed [EB/OL]. [2018-10-10]. <https://www.fda.gov/Food/GuidanceRegulation/GuidanceDocumentsRegulatoryInformation/ChemicalContaminantsMetalsNaturalToxinsPesticides/ucm120184.htm>.
- [9] FDA. Guidance for industry: fumonisin levels in human foods and animal feeds [EB/OL]. [2018-10-10]. <https://www.fda.gov/food/guidanceregulation/guidancedocumentsregulatoryinformation/ucm109231.htm>.
- [10] 王燕. 玉米真菌毒素检测技术的建立及其应用研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2016.
WANG Y. The study on mycotoxins detection technology and its application in maize [D]. Taian: Shandong Agricultural University, 2016.

Variation Analysis of Cereals Mycotoxin Limit Standards of CAC, EU, USA, and China

SHANG Yan'e¹, YANG Weimin²

(1. Beijing Grain and Oil Food Inspection Institute, Beijing 100162, China;

2. State Grain Bureau Standard Quality Center, Beijing 100037, China)

Abstract: Mycotoxins are toxic secondary metabolites produced by fungi, and among the most harmful are aflatoxin, ochratoxin A, trichothecenes, zearalenone, fumonisin, ergot alkaloid and so on. The establishment of the limit standard for mycotoxins is the main measure for the primary prevention of mycotoxins. Through the comparison and analysis of CAC, European Union, the United States and China's grain mycotoxins limit standards, this study has found out the existing gaps in China's current national food safety standards concerning the mycotoxins pollution index of grains, and provided references for the revision of China's grain mycotoxins limit standards.

Keywords: cereal; mycotoxin; limit standards; variation analysis; aflatoxin

(责任编辑:李 宁)