

红棕榈油的短期毒性试验研究

李寒玲¹, 陆慧媛¹, 沈伟健¹, 杨峻豪², 牛跃庭², 苏志同¹,

厉蓉蓉¹, 赵晓娜¹, 龙云凤¹, 周萍¹, 王毅谦¹

(1. 南京海关动植物与食品检测中心, 南京 210001; 2. 大马棕榈油技术研发(上海)有限公司, 上海 201108)

摘要:为评价红棕榈油作为烹调用油的安全性,按照 GB 15193.22—2014《食品安全国家标准 28 天经口毒性试验》对马来西亚产红棕榈油进行短期毒性试验。将 100 只 SD 大鼠分为 5 组,按照人体摄入量的 5.12、10.24、20.48 倍设置红棕榈油低、中、高剂量组,同时设置溶剂对照组(玉米油组)和阴性对照组(棕榈油组)。采用掺入饲料和经口灌胃两种方式同时连续给予大鼠红棕榈油 28 d,每天观察大鼠临床表现,每周记录体质量、摄食量,计算食物利用率等指标,试验前和结束时对大鼠进行眼部检查,结束时进行血液学、血生化、尿常规检测,并进行大体解剖,计算脏器系数并进行组织病理学检查。结果表明,红棕榈油以雌性 2.04、4.11、8.31 g/kg,雄性 2.12、4.23、8.45 g/kg 的实际剂量给予大鼠 28 d,受试大鼠临床表现良好,体质量、食物利用率、脏器质量、脏器系数均无异常改变;血液学、血生化及尿常规指标均在正常范围;各脏器病理组织学检查均未见与受试样品有关的病理改变。短期毒性试验结果表明红棕榈油未对大鼠产生毒性效应,短期经口食用是安全的。

关键词:红棕榈油;短期毒性试验;安全性评价

中图分类号:TS225.1;TS201.6 文献标识码:A 文章编号:1003-7969(2023)02-0058-07

Short-term toxicity test of red palm oil

LI Hanling¹, LU Huiyuan¹, SHEN Weijian¹, YOONG Junhao², NIU Yueting²,
SU Zhitong¹, LI Rongrong¹, ZHAO Xiaona¹, LONG Yunfeng¹,
ZHOU Ping¹, WANG Yiqian¹

(1. Animal, Plant, and Food Inspection Center of Nanjing Customs, Nanjing 210001, China; 2. Palm Oil Research and Technical Service Institute of Malaysian Palm Oil Board, Shanghai 201108, China)

Abstract: In order to evaluate the safety of red palm oil as cooking oil, the short-term toxicity test of red palm oil from Malaysia was conducted by GB 15193.22-2014 *National food safety standard 28-day oral toxicity test*. A total of 100 SD rats were divided into 5 groups, and the high, medium, low dose groups of red palm oil were set according to 20.48, 10.24, 5.12 times of human intake. Solvent control group (corn oil group) and negative control group (palm oil group) were also set. The rats were given both adulterated feed and oral gavage for 28 d. The clinical performance of the rats was observed daily, body weight and food intake were recorded weekly, and food utilization was calculated. Before and at the end of the test, rats' eyes were examined. At the end of the test, the tests of hematology, blood biochemistry, routine urine, gross anatomy and histopathological examination were carried out on the

main organs, and the organ coefficient was calculated. The results showed that giving red palm oil at the real dose of female 2.04, 4.11 g/kg and 8.31 g/kg and male rats 2.12, 4.23 g/kg and 8.45 g/kg for 28 d, the experimental rats were in good clinical performance, with no abnormal changes in body weight, food utilization, organ weight and organ coefficient.

收稿日期:2021-12-02;修回日期:2022-09-23

基金项目:南京海关科技计划(2020KJ21);马来西亚棕榈油总署项目(PORTSIM061/2017)

作者简介:李寒玲(1991),女,助理实验师,主要从事特殊食品检测工作(E-mail)15851857322@163.com。

通信作者:陆慧媛,高级工程师,博士(E-mail)hylu_njmu@126.com。

The results of hematology and biochemistry and routine urine indexes were within the normal range. The histopathological examination of each organ showed no pathological changes related to the tested sample. The red palm oil has no harmful effects on rat, and is safe for orally intake in a short period of time.

Key words: red palm oil; short-term toxicity test; safety evaluation

红棕榈油是一种以棕榈果肉为原料,经过压榨和低温分子蒸馏技术精炼而成的棕榈油,因保留了棕榈果肉中的胡萝卜素,故其颜色呈红色,又称为红棕榈油^[1]。红棕榈油富含胡萝卜素、生育酚、生育三烯酚、角鲨烯、植物甾醇、辅酶 Q10 等,具有较高的营养价值^[2-3],对维生素 A 缺乏症、心血管疾病、癌症等具有预防作用。Canfield 等^[4]采用红棕榈油和 β -胡萝卜素胶囊对 1~24 个月的婴儿及对应的产妇进行为期 1 个月的干预,结果发现,红棕榈油与 β -胡萝卜素胶囊均可以提高产妇血清、婴儿血清和母乳中视黄醇的浓度,效果基本一致。Salem^[5]报道了红棕榈油中富含活性成分(如胡萝卜素、生育酚、生育三烯酚、植物甾醇等),其能够降低血清中低密度脂蛋白胆固醇浓度,提高高密度脂蛋白胆固醇浓度,减少胆固醇和甘油三酯在血管壁上的沉积,抑制动脉粥样硬化的形成。Boateng 等^[6]采用大豆油和红棕榈油干预直结肠癌大鼠模型动物,结果发现,红棕榈油组(7%、14%)的癌前病变标志物数量均小于大豆油组,且谷胱甘肽转移酶(GST)活性分别是对应大豆油组的 1.6 倍和 2.1 倍,表明红棕榈油可降低致癌剂氧化偶氮甲烷诱发的癌变率,提高 GST 活性。

红棕榈油在东南亚、欧美、非洲等地区应用广泛,研究也较为深入^[7-14],但因其色泽不符合目前我国棕榈油国家标准(GB 15680—2009)的要求,国内尚未见规模性进口,因此对其研究也甚少^[15-16]。中国粮油学会 2020 年制订了红棕榈油团体标准(T/CCOA 18—2020),并于 2021 年实施,该标准的发布为引进红棕榈油作为食用油打下了坚实的基础。为评价红棕榈油作为烹调用油的安全性,本研究对来自马来西亚产红棕榈油进行短期毒性试验研究,以期对进口(或引进)红棕榈油作为健康的餐饮用油提供数据支持。

1 材料与方法

1.1 试验材料

1.1.1 受试样品

红棕榈油,密度 0.900 64 g/mL,酸值(KOH) 0.19 mg/g,过氧化值 0.084 g/100 g,皂化值(KOH) 196 mg/g,色泽黄 5.0、红 25.1(罗维朋 133.4 mm

槽),胡萝卜素总量 344.5 mg/kg,大马棕榈油技术研发(上海)有限公司提供。

1.1.2 受试动物

SPF 级健康离乳 SD 大鼠(共 100 只),雌雄各半,浙江维通利华实验动物技术有限公司提供,在温度 20~25℃、相对湿度 40%~70%的屏障系统中饲养。灭菌饲料,江苏省协同医药生物工程有限公司提供。

1.1.3 仪器与设备

奥林巴斯 BX 43 正置显微镜,日立 7180 全自动生化分析仪,希森美康 XT-2000 iv 动物血球分析仪,希森美康 CS-2000 i 全自动凝血分析仪,迈瑞 UA-600 尿液分析仪和莱卡 RM2245 石蜡切片机。

1.2 试验方法

参照 GB 15193.22—2014《食品安全国家标准 28 天经口毒性试验》进行短期毒性试验。

1.2.1 试验设计

根据《中国居民膳食指南(2016 版)》和 GB 15193.22—2014 的要求,并综合考虑红棕榈油作为液态食用油的特性,采用掺入饲料和经口灌胃两种方式同时给予大鼠。设计高、中、低剂量组分别为 8.60、4.30 g/kg 和 2.15 g/kg,分别相当于人体摄入量(食用油摄入按人均 25 g/d,体质量以 60 kg 计,即 0.42 g/kg)的 20.48、10.24 倍和 5.12 倍,同时以玉米油为溶剂对照组,棕榈油为阴性对照组。

根据设计的剂量,连续给予大鼠红棕榈油 28 d,每天观察大鼠的临床表现,每周记录大鼠体质量、摄食量,计算食物利用率等指标,试验前后对大鼠进行眼部检查,试验结束时对大鼠进行尿常规检测,麻醉后经腹主动脉采血进行血液学、血生化指标检测,并进行大体解剖,对大鼠主要脏器进行组织病理学检查。

1.2.2 数据统计与处理

各指标数据用适当的形式表示,用 SPSS 软件进行统计分析:其中玉米油组和棕榈油组之间比较采用成组 t 检验;其余计量资料采用单因素方差分析方法中多个试验组与一个对照组间均数的两两比较或秩和检验;分类资料采用卡方检验。以 $p < 0.05$ 表示差异具有统计学意义。

2 结果与分析

2.1 红棕榈油对大鼠临床表现和体质量的影响

观察发现,各组动物临床表现和行为均未见明显异常,无中毒表现,无死亡。红棕榈油对大鼠体质量

量的影响见表1。由表1可知,试验前大鼠的体质量在各组间较为均衡,试验期间,玉米油组与棕榈油组、红棕榈油组与玉米油组及棕榈油组雌、雄大鼠各周体质量比较,差异均无统计学意义($p > 0.05$)。

表1 红棕榈油对大鼠体质量的影响($\bar{x} \pm s$)

性别	组别	体质量/g				
		0 d	7 d	14 d	21 d	28 d
雌	玉米油组	81.1 ± 4.5	125.8 ± 7.6	162.4 ± 13.0	188.4 ± 20.1	209.4 ± 23.2
	棕榈油组	81.1 ± 4.5	128.2 ± 8.0	162.7 ± 11.4	189.2 ± 15.5	207.4 ± 16.1
	红棕榈油低剂量组	80.9 ± 4.4	128.7 ± 10.0	161.2 ± 15.9	186.7 ± 17.9	206.0 ± 21.0
	红棕榈油中剂量组	80.9 ± 4.1	127.8 ± 6.7	163.0 ± 7.4	189.2 ± 10.1	208.2 ± 12.4
	红棕榈油高剂量组	81.0 ± 4.3	124.7 ± 8.1	158.1 ± 9.8	182.8 ± 13.1	200.2 ± 12.4
雄	玉米油组	82.4 ± 4.4	140.2 ± 8.0	195.5 ± 16.1	259.9 ± 19.7	307.4 ± 24.1
	棕榈油组	82.2 ± 3.9	135.8 ± 10.3	198.1 ± 15.9	259.1 ± 22.7	307.7 ± 32.3
	红棕榈油低剂量组	82.2 ± 4.0	142.4 ± 9.0	203.4 ± 14.7	263.9 ± 21.6	315.5 ± 28.0
	红棕榈油中剂量组	82.0 ± 4.2	140.9 ± 9.9	202.4 ± 16.3	261.8 ± 22.4	309.4 ± 27.0
	红棕榈油高剂量组	81.9 ± 4.1	138.5 ± 5.7	196.7 ± 11.4	256.2 ± 14.8	298.2 ± 20.3

2.2 实际剂量

按照1.2.1的设计给予受试样品,大鼠喂养

28 d后,根据大鼠平均体质量和每日摄食量,计算大鼠实际由饲料摄入剂量,结果见表2。

表2 实际剂量($\bar{x} \pm s$)

性别	饲料中设计剂量/(g/kg)	平均体质量/g	每日摄食量/g	实际由饲料摄入量/(g/kg)	灌胃剂量/(g/kg)	总实际剂量/(g/kg)	实际倍数
雌	1.25	152.7 ± 13.4	13.9 ± 1.5	1.14 ± 0.08	0.9	2.04	4.9
	2.50	153.8 ± 7.3	14.2 ± 0.9	2.31 ± 0.09	1.8	4.11	9.9
	5.00	149.4 ± 8.5	14.1 ± 1.0	4.71 ± 0.28	3.6	8.31	19.9
雄	1.25	201.5 ± 14.1	19.6 ± 2.1	1.22 ± 0.10	0.9	2.12	5.1
	2.50	199.3 ± 14.3	19.3 ± 1.3	2.43 ± 0.16	1.8	4.23	10.2
	5.00	194.3 ± 10.2	18.9 ± 1.1	4.85 ± 0.21	3.6	8.45	20.3

注:实际倍数指大鼠实际摄入量相当于人体摄入量的倍数

2.3 红棕榈油对大鼠食物利用率的影响(见表3)

由表3可见,玉米油组与棕榈油组、红棕榈油组与

玉米油组及棕榈油组雌、雄大鼠各周食物利用率比较,差异均无统计学意义($p > 0.05$)。

表3 红棕榈油对大鼠食物利用率的影响($\bar{x} \pm s$)

性别	组别	食物利用率/%				总利用率/%
		第1周	第2周	第3周	第4周	
雌	玉米油组	49.0 ± 5.2	36.3 ± 6.0	24.9 ± 7.4	23.0 ± 5.4	33.2 ± 4.6
	棕榈油组	50.2 ± 3.0	32.6 ± 4.0	24.1 ± 2.4	20.2 ± 6.8	31.5 ± 1.6
	红棕榈油低剂量组	50.0 ± 3.7	32.1 ± 5.1	25.4 ± 6.7	21.1 ± 5.2	32.2 ± 3.0
	红棕榈油中剂量组	48.1 ± 3.3	34.8 ± 5.2	25.2 ± 4.3	20.1 ± 3.3	32.0 ± 2.2
	红棕榈油高剂量组	47.0 ± 2.4	33.3 ± 5.8	22.7 ± 7.0	19.3 ± 4.0	30.4 ± 3.3
雄	玉米油组	54.5 ± 4.7	42.8 ± 5.0	43.0 ± 4.0	33.5 ± 2.9	42.7 ± 2.2
	棕榈油组	54.1 ± 5.3	50.7 ± 11.3	41.7 ± 5.9	32.9 ± 4.9	43.7 ± 3.9
	红棕榈油低剂量组	55.1 ± 4.3	44.8 ± 5.8	39.1 ± 8.0	35.1 ± 4.6	42.6 ± 4.1
	红棕榈油中剂量组	53.6 ± 3.9	46.0 ± 7.1	38.6 ± 6.0	33.0 ± 4.0	42.0 ± 3.2
	红棕榈油高剂量组	53.2 ± 4.3	43.1 ± 5.6	40.0 ± 3.0	30.5 ± 3.5	40.9 ± 2.4

2.4 红棕榈油对大鼠眼部的影响

试验前后,用检眼镜对红棕榈油高剂量组、玉米油组和棕榈油组大鼠进行眼部角膜、球结膜、虹膜检查,结果均未发现眼部有异常变化。

2.5 红棕榈油对大鼠血液学指标的影响(见表4)

由表4可见,玉米油组和棕榈油组比较,雄性大鼠血红蛋白水平、红细胞压积差异有统计学意义,但数值均在正常值范围内,无生物学意义。雌性大鼠红棕榈油高剂量组单核细胞与玉米油组比较差异有统计学意义,但无剂量-反应关系,且数值在正常值

范围内,与棕榈油组比较差异无统计学意义,不认为具有不良生物学意义。红棕榈油组与玉米油组比较,其余各指标差异均无统计学意义($p > 0.05$)。雄性大鼠红棕榈油低剂量组和中剂量组凝血酶原时间和活化部分凝血活酶时间,以及红棕榈油高剂量组红细胞压积与棕榈油组比较差异有统计学意义,但无剂量-反应关系,且数值均在正常值范围内,与玉米油组相比差异无统计学意义,不认为具有不良生物学意义。红棕榈油组其余各指标与棕榈油组比较,差异均无统计学意义($p > 0.05$)。

表4 红棕榈油对大鼠血液学指标的影响($\bar{x} \pm s$)

性别	组别	红细胞计数/ ($10^{12}/L$)	血红蛋白/ (g/L)	红细胞压积/%	血小板计数/ ($10^9/L$)	白细胞计数/ ($10^9/L$)	中性细胞/%
雌	玉米油组	6.81 ± 0.41	145.80 ± 8.65	41.30 ± 2.04	894.2 ± 67.5	7.11 ± 4.57	13.57 ± 6.44
	棕榈油组	6.83 ± 0.34	148.50 ± 8.90	42.36 ± 2.08	853.2 ± 174.8	6.53 ± 4.12	10.84 ± 8.97
	红棕榈油低剂量组	6.76 ± 0.39	152.20 ± 5.12	42.32 ± 1.70	907.0 ± 222.1	7.96 ± 3.51	10.15 ± 4.89
	红棕榈油中剂量组	6.83 ± 0.30	147.80 ± 4.94	41.47 ± 1.58	933.9 ± 108.9	6.91 ± 2.61	10.32 ± 4.73
	红棕榈油高剂量组	6.79 ± 0.38	148.70 ± 9.29	41.62 ± 2.44	1 006.6 ± 143.0	4.63 ± 3.47	9.61 ± 3.38
雄	玉米油组	6.78 ± 0.22	147.90 ± 3.18	42.06 ± 0.86	1 049.1 ± 212.4	9.55 ± 2.85	9.53 ± 3.65
	棕榈油组	6.70 ± 0.27	151.80 ± 3.99*	43.65 ± 1.46*	1 006.7 ± 60.2	8.37 ± 3.23	7.82 ± 2.42
	红棕榈油低剂量组	6.80 ± 0.29	150.70 ± 4.22	42.78 ± 1.02	941.1 ± 116.1	9.58 ± 3.06	7.44 ± 1.47
	红棕榈油中剂量组	6.81 ± 0.31	150.30 ± 9.29	42.76 ± 1.37	969.9 ± 89.5	8.00 ± 3.12	9.30 ± 3.93
	红棕榈油高剂量组	6.94 ± 0.30	152.20 ± 8.11	41.72 ± 2.21#	1 115.1 ± 227.4	5.94 ± 4.03	7.95 ± 2.70

性别	组别	凝血酶原 时间/s	活化部分凝血 活酶时间/s	淋巴细胞/ %	单核细胞/ %	嗜酸性细胞/ %	嗜碱性细胞/ %
雌	玉米油组	7.80 ± 0.29	21.81 ± 3.86	80.66 ± 7.47	4.66 ± 1.43	1.00 ± 0.34	0.11 ± 0.03
	棕榈油组	9.18 ± 3.53	28.67 ± 15.76	83.94 ± 9.68	4.06 ± 1.70	1.09 ± 0.82	0.12 ± 0.04
	红棕榈油低剂量组	8.64 ± 2.44	22.88 ± 6.41	85.03 ± 6.05	3.57 ± 1.13	1.12 ± 0.84	0.13 ± 0.05
	红棕榈油中剂量组	8.35 ± 1.58	21.63 ± 2.93	84.58 ± 4.89	3.96 ± 1.18	1.03 ± 0.35	0.11 ± 0.03
	红棕榈油高剂量组	8.11 ± 0.36	20.68 ± 2.10	86.05 ± 4.23	3.27 ± 1.09*	0.95 ± 0.54	0.11 ± 0.03
雄	玉米油组	11.48 ± 2.92	30.56 ± 9.65	85.79 ± 4.15	3.96 ± 1.27	0.59 ± 0.25	0.13 ± 0.05
	棕榈油组	9.34 ± 1.43	23.69 ± 3.92	88.06 ± 3.20	3.53 ± 1.36	0.47 ± 0.34	0.12 ± 0.04
	红棕榈油低剂量组	11.30 ± 2.34#	30.64 ± 5.95#	88.06 ± 2.07	3.88 ± 0.99	0.49 ± 0.30	0.13 ± 0.05
	红棕榈油中剂量组	11.55 ± 1.28#	31.56 ± 6.88#	85.90 ± 3.71	4.21 ± 0.85	0.45 ± 0.22	0.14 ± 0.07
	红棕榈油高剂量组	10.07 ± 1.34	26.36 ± 4.43	87.59 ± 3.06	3.88 ± 1.09	0.45 ± 0.31	0.13 ± 0.05

注: *代表与玉米油组比较差异有统计学意义($p < 0.05$);#代表与棕榈油组比较差异有统计学意义($p < 0.05$);下同

2.6 红棕榈油对大鼠血生化指标的影响(见表5)

由表5可见:玉米油组和棕榈油组比较,雌性大鼠血糖、钠离子水平,雄性大鼠白蛋白、碱性磷酸酶水平,差异有统计学意义,但数值均在正常值范围内,结合肝脏、肾脏等相应脏器的质量及组织病理学未见异常改变,同时胰脏的组织病理学也未见异常改变等情况,认为无生物学意义。玉米油组与棕榈油组其余各指标差异无统计学意义($p > 0.05$)。

与玉米油组比较,雌性大鼠红棕榈油中、高剂量组甘油三酯水平,雄性大鼠红棕榈油低剂量组氯离子水平、高剂量组甘油三酯和血糖水平,差异有统计

学意义,但无剂量-反应关系,且数值在正常值范围内,结合肝脏等相应脏器的质量及组织病理学未见异常改变,同时胰脏的组织病理学未见异常改变等情况,认为无生物学意义。红棕榈油组其余各指标与玉米油组比较,差异均无统计学意义($p > 0.05$)。

与棕榈油组比较,雌性大鼠红棕榈油中、高剂量组甘油三酯水平、中剂量组钠离子水平,雄性大鼠红棕榈油低、中、高剂量组白蛋白、中剂量组尿素氮、高剂量组总蛋白差异有统计学意义,但无剂量-反应关系,且数值均在正常值范围内,结合肝脏、肾脏等相应脏器的质量与组织病理学未见异常改变的情

况,认为无生物学意义。红棕榈油组其余各指标与 棕榈油组比较,差异均无统计学意义($p > 0.05$)。

表5 红棕榈油对大鼠血生化指标的影响($\bar{x} \pm s$)

性别	组别	谷丙转氨酶/ (U/L)	谷草转氨酶/ (U/L)	总蛋白/ (g/L)	白蛋白/ (g/L)	碱性磷酸酶/ (U/L)	谷氨酰转肽酶/ (U/L)	血糖/ (mmol/L)
雌	玉米油组	22.9 ± 3.8	156.4 ± 22.6	56.3 ± 3.6	33.3 ± 2.1	114.9 ± 29.2	0.88 ± 0.61	5.36 ± 0.82
	棕榈油组	24.7 ± 3.3	137.0 ± 21.2	58.1 ± 2.6	33.6 ± 1.4	133.2 ± 46.6	0.74 ± 0.54	6.84 ± 1.90*
	红棕榈油低剂量组	24.6 ± 3.4	153.3 ± 22.7	58.3 ± 4.2	33.7 ± 2.0	127.9 ± 36.2	0.77 ± 0.59	5.68 ± 2.86
	红棕榈油中剂量组	22.4 ± 3.5	146.6 ± 25.7	56.4 ± 3.5	33.3 ± 2.2	122.4 ± 26.9	0.54 ± 0.45	5.92 ± 0.68
	红棕榈油高剂量组	24.1 ± 6.4	165.5 ± 34.8	55.4 ± 2.5	32.5 ± 1.6	136.5 ± 36.3	0.49 ± 0.32	6.67 ± 1.14
雄	玉米油组	31.2 ± 4.0	184.3 ± 53.8	54.4 ± 2.4	31.5 ± 0.9	218.4 ± 59.0	0.42 ± 0.41	5.82 ± 1.18
	棕榈油组	31.6 ± 7.2	181.8 ± 21.7	55.7 ± 2.6	32.6 ± 1.1*	295.8 ± 98.0*	0.40 ± 0.29	6.08 ± 1.53
	红棕榈油低剂量组	31.2 ± 5.1	210.1 ± 44.7	54.1 ± 1.7	31.4 ± 0.8#	222.8 ± 40.8	0.46 ± 0.49	5.54 ± 1.08
	红棕榈油中剂量组	31.2 ± 14.4	171.1 ± 37.9	53.8 ± 2.2	31.3 ± 1.1#	228.9 ± 59.1	0.26 ± 0.16	6.80 ± 1.36
	红棕榈油高剂量组	32.4 ± 9.9	177.0 ± 20.7	52.8 ± 2.2#	30.9 ± 0.8#	230.5 ± 74.0	0.48 ± 0.57	7.58 ± 1.80*

性别	组剂	尿素氮/ (mmol/L)	肌酐/ (μmol/L)	总胆固醇/ (mmol/L)	甘油三酯/ (mmol/L)	钾/ (mmol/L)	钠/ (mmol/L)	氯/ (mmol/L)
雌	玉米组	6.44 ± 0.95	40.10 ± 8.12	2.04 ± 0.32	0.63 ± 0.25	5.33 ± 0.37	154.3 ± 1.3	122.0 ± 1.8
	棕榈油组	6.50 ± 1.89	34.40 ± 4.40	2.15 ± 0.37	0.75 ± 0.44	5.19 ± 0.50	152.1 ± 2.8*	122.1 ± 2.5
	红棕榈油低剂量组	6.98 ± 2.39	34.40 ± 4.72	2.13 ± 0.49	0.48 ± 0.22	5.24 ± 0.30	153.5 ± 2.0	123.1 ± 1.5
	红棕榈油中剂量组	5.90 ± 1.69	33.50 ± 6.49	2.01 ± 0.21	0.41 ± 0.10*#	5.17 ± 0.22	154.4 ± 1.0#	122.7 ± 0.9
	红棕榈油高剂量组	6.02 ± 1.50	34.20 ± 7.77	1.89 ± 0.22	0.38 ± 0.08*#	5.30 ± 0.33	154.2 ± 1.1	122.8 ± 0.8
雄	玉米油组	4.41 ± 0.90	26.00 ± 2.26	2.13 ± 0.25	0.63 ± 0.14	5.45 ± 0.28	155.3 ± 1.2	121.5 ± 1.2
	棕榈油组	5.00 ± 1.30	26.90 ± 4.12	1.93 ± 0.41	0.52 ± 0.11	5.10 ± 0.89	148.3 ± 13.6	122.1 ± 1.4
	红棕榈油低剂量组	4.07 ± 1.02	25.80 ± 4.59	1.94 ± 0.34	0.59 ± 0.18	5.37 ± 0.66	152.7 ± 4.3	122.9 ± 1.4*
	红棕榈油中剂量组	3.49 ± 0.78#	22.40 ± 4.84	2.13 ± 0.43	0.51 ± 0.15	5.51 ± 0.62	153.4 ± 5.4	121.5 ± 1.0
	红棕榈油高剂量组	4.29 ± 1.00	24.80 ± 6.46	1.80 ± 0.26	0.43 ± 0.15*	5.41 ± 0.37	152.2 ± 5.3	122.5 ± 1.4

2.7 红棕榈油对大鼠尿常规指标的影响(见表6)

由表6可见,玉米油组与棕榈油组、红棕榈油组比较,雌、雄性大鼠尿常规指标差异均无统计学意义($p > 0.05$)。

与棕榈油组比较,雌性大鼠红棕榈油低剂量组

尿蛋白差异有统计学意义,但无剂量-反应关系,结合血生化中肌酐和尿素氮浓度、肾脏的质量及组织病理学未见异常改变等情况,认为无生物学意义。红棕榈油组其余尿常规指标与棕榈油组比较,差异均无统计学意义($p > 0.05$)。

表6 红棕榈油对大鼠尿常规指标的影响($\bar{x} \pm s$)

性别	组别	pH	相对密度	尿蛋白					尿葡萄糖		尿隐血	
				-	+	-	+	++	+++	-	+	-
雌	玉米油组	5.30 ± 0.48	1.020 ± 0.008	4	2	2	1	1	10	10	0	
	棕榈油组	5.40 ± 0.70	1.022 ± 0.006	2	1	1	5	1	10	9	1	
	红棕榈油低剂量组	5.55 ± 0.60	1.020 ± 0.006	4	0	5	0#	1	10	9	1	
	红棕榈油中剂量组	5.50 ± 0.53	1.022 ± 0.003	2	2	2	1	3	10	7	3	
	红棕榈油高剂量组	5.55 ± 0.60	1.020 ± 0.006	6	1	1	1	1	10	10	0	
雄	玉米油组	5.40 ± 0.52	1.025 ± 0.004	2	0	2	3	3	10	10	0	
	棕榈油组	5.40 ± 0.52	1.023 ± 0.003	1	0	3	5	1	10	9	1	
	红棕榈油低剂量组	5.30 ± 0.48	1.027 ± 0.004	1	0	2	6	1	10	10	0	
	红棕榈油中剂量组	5.35 ± 0.58	1.026 ± 0.005	1	1	3	1	4	10	9	1	
	红棕榈油高剂量组	5.20 ± 0.42	1.026 ± 0.004	4	0	2	4	0	10	10	0	

2.8 大体病理及组织学检查

28 d 喂养结束时处死大鼠,肉眼观察各脏器形

态,分离心脏、胸腺、肾上腺、肝脏、肾脏、脾脏、睾丸、卵巢,用生理盐水洗净,滤纸吸水后称质量,分别计

算脏器系数(脏体比)。取玉米油组、棕榈油组和红棕榈油高剂量组大鼠主要脏器(包括脑、甲状腺、胸腺、心脏、肝脏、脾脏、肾脏、肾上腺、胃、十二指肠、结肠、胰、肠系膜淋巴结、卵巢、睾丸及膀胱)进行组织病理学检查。

2.8.1 红棕榈油对大鼠脏器质量及脏器系数的影响(见表7)

由表7可见,玉米油组与棕榈油组、红棕榈油组

比较,雌、雄性大鼠脏器质量和脏器系数差异均无统计学意义($p > 0.05$)。

雌性大鼠红棕榈油高剂量组脾脏质量与棕榈油组比较,差异有统计学意义,但两组脾脏的脏器系数差异无统计学意义,且无剂量-反应关系,认为无生物学意义;红棕榈油组其余各指标与棕榈油组比较,差异均无统计学意义($p > 0.05$)。

表7 红棕榈油对大鼠脏器质量及脏器系数的影响($\bar{x} \pm s$)

性别	组别	停食后 体质量/g	肝脏质量/g	肝体比/%	脾脏质量/g	脾体比/%	肾脏质量/g	肾体比/%
雌	玉米油组	195.6 ± 22.5	6.74 ± 0.97	3.44 ± 0.26	0.42 ± 0.08	0.21 ± 0.03	2.01 ± 0.48	1.02 ± 0.17
	棕榈油组	195.2 ± 18.8	7.13 ± 1.52	3.65 ± 0.71	0.46 ± 0.05	0.24 ± 0.03	2.12 ± 0.48	1.08 ± 0.20
	红棕榈油低剂量组	194.5 ± 20.8	7.30 ± 1.39	3.75 ± 0.54	0.45 ± 0.07	0.23 ± 0.02	2.06 ± 0.38	1.06 ± 0.18
	红棕榈油中剂量组	196.3 ± 11.7	6.59 ± 0.61	3.35 ± 0.20	0.46 ± 0.05	0.23 ± 0.02	1.99 ± 0.47	1.01 ± 0.20
	红棕榈油高剂量组	186.1 ± 12.4	6.54 ± 0.67	3.51 ± 0.23	0.39 ± 0.06 [#]	0.21 ± 0.03	1.94 ± 0.27	1.04 ± 0.15
雄	玉米油组	291.0 ± 21.0	9.36 ± 0.87	3.22 ± 0.21	0.73 ± 0.16	0.25 ± 0.05	2.44 ± 0.31	0.84 ± 0.06
	棕榈油组	290.7 ± 28.9	9.75 ± 1.71	3.34 ± 0.27	0.63 ± 0.07	0.22 ± 0.02	2.44 ± 0.37	0.84 ± 0.07
	红棕榈油低剂量组	295.0 ± 26.6	9.69 ± 1.11	3.29 ± 0.26	0.68 ± 0.13	0.23 ± 0.04	2.37 ± 0.25	0.81 ± 0.06
	红棕榈油中剂量组	291.6 ± 26.3	9.83 ± 1.44	3.36 ± 0.26	0.68 ± 0.09	0.23 ± 0.03	2.42 ± 0.19	0.83 ± 0.03
	红棕榈油高剂量组	277.3 ± 17.3	9.66 ± 1.66	3.48 ± 0.57	0.70 ± 0.15	0.25 ± 0.05	2.41 ± 0.29	0.87 ± 0.08

性别	组别	性腺质量/g	性腺体比/%	心脏质量/g	心体比/%	胸腺质量/g	胸腺体比/%	肾上腺质量/g	肾上腺体比/%
雌	玉米油组	0.13 ± 0.02	0.07 ± 0.01	0.93 ± 0.24	0.47 ± 0.11	0.60 ± 0.10	0.30 ± 0.02	0.061 ± 0.017	0.032 ± 0.011
	棕榈油组	0.15 ± 0.03	0.08 ± 0.01	0.86 ± 0.15	0.44 ± 0.06	0.55 ± 0.13	0.28 ± 0.07	0.064 ± 0.017	0.033 ± 0.007
	红棕榈油低剂量组	0.15 ± 0.02	0.08 ± 0.01	0.81 ± 0.15	0.41 ± 0.04	0.60 ± 0.08	0.31 ± 0.03	0.066 ± 0.016	0.035 ± 0.010
	红棕榈油中剂量组	0.14 ± 0.03	0.07 ± 0.01	0.85 ± 0.09	0.43 ± 0.04	0.62 ± 0.10	0.31 ± 0.05	0.066 ± 0.015	0.034 ± 0.008
	红棕榈油高剂量组	0.14 ± 0.02	0.08 ± 0.01	0.85 ± 0.13	0.45 ± 0.06	0.54 ± 0.13	0.29 ± 0.07	0.064 ± 0.012	0.035 ± 0.007
雄	玉米油组	2.98 ± 0.32	1.02 ± 0.08	1.28 ± 0.19	0.44 ± 0.06	0.72 ± 0.17	0.25 ± 0.05	0.055 ± 0.017	0.019 ± 0.005
	棕榈油组	3.01 ± 0.33	1.04 ± 0.12	1.32 ± 0.23	0.45 ± 0.06	0.79 ± 0.11	0.27 ± 0.03	0.052 ± 0.018	0.018 ± 0.006
	红棕榈油低剂量组	2.81 ± 0.24	0.96 ± 0.08	1.35 ± 0.18	0.46 ± 0.06	0.81 ± 0.10	0.28 ± 0.04	0.057 ± 0.008	0.020 ± 0.004
	红棕榈油中剂量组	2.81 ± 0.43	0.96 ± 0.13	1.40 ± 0.26	0.49 ± 0.11	0.79 ± 0.18	0.27 ± 0.06	0.057 ± 0.019	0.020 ± 0.008
	红棕榈油高剂量组	2.68 ± 0.25	0.97 ± 0.08	1.31 ± 0.21	0.47 ± 0.07	0.70 ± 0.11	0.25 ± 0.05	0.056 ± 0.013	0.020 ± 0.005

2.8.2 红棕榈油对大鼠脏器组织病理变化的影响

对大鼠主要脏器进行病理学检查,异常结果汇总见表8。由表8可见,除肝脏存在轻、中度脂肪变

性外,其余各组大鼠大体解剖均未见异常改变,且脂肪变性考虑为自发性病变,与受试样品无关。

表8 红棕榈油对大鼠脏器组织病理变化的影响($n = 10$)

性别	病理变化	玉米油组				棕榈油组				红棕榈油高剂量组			
		阴性	轻度	中度	重度	阴性	轻度	中度	重度	阴性	轻度	中度	重度
雌	肝脏脂肪变性	8	0	2	0	7	2	1	0	7	1	2	0
雄	肝脏脂肪变性	8	1	1	0	6	2	2	0	7	1	2	0

注: n 表示每个剂量组的大鼠只数

3 结 论

试验动物的生长发育受各种因素的影响,包括环境温湿度、光照时间及营养水平等,均可能会导致生长发育的各项指标出现差异,因此很多检测指标没有一个公认的参考值,需要实验室在日常检测中积累出实验室内部的数据库,来判断产生差异的指标是否因为受试样品而导致。

本研究用红棕榈油以 8.60、4.30、2.15 g/kg 的设计剂量(分别相当于人体每日食用油推荐摄入量的 20.48、10.24 倍和 5.12 倍)给予大鼠 28 d,结果发现:受试大鼠临床表现良好,体质量、食物利用率、脏器质量、脏器系数均无异常改变;血液学、血生化及尿常规指标结果显示,各项指标均在正常范围内;各脏器病理组织学检查均未见与受试样品有关的病理改变。说明根据 GB 15193.22—2014 给予大鼠人体推荐摄入量 20.48 倍(实际剂量雌性为 19.9 倍,雄性为 20.3 倍)的红棕榈油,未观察到有害作用,此结果不仅弥补了国内针对红棕榈油作为烹调用油的毒理学研究的空白,同时为引入红棕榈油作为健康的餐食用油提供了有力的数据支持。

参考文献:

- [1] MAYAMOL P N, BALACHANDRAN C, SAMUEL T, et al. Process technology for the production of micronutrient rich red palm olein[J]. *J Am Oil Chem Soc*, 2007, 84(6):587-596.
- [2] 潘开林,季敏,胡明明,等. 红棕油中功能成分的测定[J]. *粮食与油脂*, 2016, 29(12):79-81.
- [3] TAY B, CHOO Y M. Valuable minor constituents of commercial red palm olein carotenoids, vitamin E, ubiquinones and sterols[J]. *J Oil Palm Res*, 2000, 12(1):14-24.
- [4] CANFIELD L M, KAMINSKY R G. Red palm oil in the maternal diet improves the vitamin a status of lactating mothers and their infants[J]. *Food Nutr Bull*, 2000, 21(2):144-148.
- [5] SALEM S A. Effect of two carotenoids (lycopene and β -carotene) supplementation on hyperlipidemia and lipid peroxidation in experimental albino rats[J]. *J High Ins Public Health*, 2015, 45(1):1-7.
- [6] BOATENG J, VERGHESE M, CHAWAN C B, et al. Red palm oil suppresses the formation of azoxymethane (AOM) induced aberrant crypt foci (ACF) in fisher 344 male rats[J]. *Food Chem Toxicol*, 2006, 44(10):1667-1673.
- [7] MAY C Y, NESARETNAM K. Research advancements in palm oil nutrition[J]. *Eur J Lipid Sci Technol*, 2014, 116(10):1301-1315.
- [8] VAN STUIJVENBERG M E, DHANSAY M A, LOMBARD C J, et al. The effect of a biscuit with red palm oil as a source of β -carotene on the vitamin A status of primary school children: a comparison with β -carotene from a synthetic source in a randomised controlled trial[J]. *Eur J Clin Nutr*, 2001, 55(8):657-662.
- [9] CATANZARO R, ZERBINATI N, SOLIMENE U, et al. Beneficial effect of refined red palm oil on lipid peroxidation and monocyte tissue factor in HCV-related liver disease: a randomized controlled study[J]. *Hepatob Pancreat Dis*, 2016, 15(2):165-172.
- [10] LEE W J, TAN C P, SULAIMAN R, et al. Storage stability and degradation kinetics of bioactive compounds in red palm oil microcapsules produced with solution-enhanced dispersion by supercritical carbon dioxide: a comparison with the spray-drying method[J/OL]. *Food Chem*, 2020, 304:125427 [2021-12-02]. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125427>.
- [11] SUKMIWATI M, SYAHRUL S, DEWITA, et al. Characteristics of softgel capsules mixture of patin oil, red palm oil, and shark liver oil[J/OL]. *IOP Conf Ser: Earth Environ Sci*, 2020, 430:012008 [2021-12-02]. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/430/1/012008>.
- [12] PING B T Y, IDRIS C A C, ABD MAURAD Z. Oxidative stability of refined red palm olein under two Malaysian storage conditions[J]. *J Oleo Sci*, 2020, 69(10):1209-1218.
- [13] LOGANATHAN R, TARMIZI A H A, VETHAKKAN S R, et al. Thermal stability and sensory acceptance of cupcakes containing red palm olein[J]. *J Oleo Sci*, 2020, 69(7):671-676.
- [14] LOGANATHAN R, VETHAKKAN S R, RADHAKRISHNAN A K, et al. Red palm olein supplementation on cytokines, endothelial function and lipid profile in centrally overweight individuals: a randomised controlled trial[J]. *Eur J Clin Nutr*, 2019, 73(4):609-616.
- [15] LEE W J, TAN C P, SULAIMAN R, et al. Solubility of red palm oil in supercritical carbon dioxide: measurement and modelling[J]. *Chin J Chem Eng*, 2018, 26:964-969.
- [16] 潘开林,朱丹丹,杨峻豪,等. 以红棕油为基料油的营养调和油研制[J]. *食品研究与开发*, 2017, 38(11):99-103.