

# 植物酚类化合物对东方田鼠体重增长和内脏器官发育的作用

何岚 李俊年\* 杨冬梅 陶双伦

(吉首大学资源与环境科学学院, 吉首 416000)

**摘要:** 在实验室条件下, 以含0%、3%和6%植物酚类化合物的食物饲喂东方田鼠, 测定了植物酚类化合物对其生长发育和内脏器官发育的效应。结果表明, 食物蛋白质为10%时, 含3%和6%酚类化合物的食物饲喂的实验个体, 其体重在30 d时较对照组个体分别降低16.4%和32.1% ( $P < 0.05$ ), 在60 d时较对照组个体分别降低16.3%和35.4% ( $P < 0.05$ )。摄食含6%酚类化合物食物的实验个体, 其肝脏相对重量在30 d和60 d时分别较对照组个体增加6.8%和6.2% ( $P < 0.05$ ), 其肾脏相对重量在30 d和60 d时较对照组个体分别增加25.5%和19.7% ( $P < 0.05$ )。食物蛋白质为20%时, 与对照组相比, 含6%酚类化合物食物饲喂的实验个体, 其体重在30 d和60 d时分别下降26.7%和27.1% ( $P < 0.05$ ), 其肾脏相对重量在30 d和60 d时分别增加10.0%和11.0% ( $P < 0.05$ )。由此可见, 植物酚类化合物可影响小型植食性哺乳动物生长发育和内脏器官的发育。

**关键词:** 酚类化合物; 东方田鼠; 体重增长; 植食性哺乳动物

中图分类号: Q958

文献标识码: A

文章编号: 1000-1050(2010)03-0297-07

## Effects of plant phenolic compound on the growth and organ development of Reed voles (*Microtus fortis*)

HE Lan, LI Junnian\*, YANG Dongmei, TAO Shuanglun

(College of Environment and Resources, Jishou University, Jishou, 416000)

**Abstract:** The effects of plant phenolic compound on growth and organ development of Reed voles (*Microtus fortis*) were studied by adding plant phenolic compound to diets at concentrations of 0% (control), 3%, or 6%. When dietary protein was at 10%, masses of individuals fed 3% and 6% phenolic compound diets decreased by 16.4% and 32.1% after 30 d treatments ( $P < 0.05$ ), and 16.3% and 35.4% after 60 d treatments ( $P < 0.05$ ), compared to the control group. The liver index of voles fed 6% phenolic compound diets increased to 6.8% and 6.2% after 30 d and 60 d treatments, respectively, and the kidney indices of voles fed 6% phenolic compound diets increased to 25.5% and 19.7% after 30 d and 60 d treatments, respectively. When the protein level was 20%, masses of individuals fed 6% phenolic compound diets decreased by 26.7% and 27.1% after 30 d and 60 d treatments, respectively ( $P < 0.05$ ). Relative kidney weights of voles fed 6% phenolic compound diets increased by 10.0% and 11.0% after 30 d and 60 d treatments, respectively ( $P < 0.05$ ). In summer, plant phenolic compound may influence growth and organ development of small herbivorous mammals.

**Key words:** Mammal herbivores; Phenolic compound; Reed vole (*Microtus fortis*); Weight gain

动物—植物系统的协同进化是现代生态学的前沿领域 (Takehito *et al.*, 2003; Hochman and Hotler, 2006)。植物为防止植食性动物的觅食, 不仅以坚硬的角质层、针、刺及钩等性状进行物理防卫, 更能以派生的次生化合物 (Plant secondary compounds, PSMs) 抑制动物的食物摄入量和蛋白

质利用率 (李俊年等, 2003a, 2007)、抑制酶活性 (Karasov *et al.*, 1992; Mansoori *et al.*, 2007)、损坏肝脏和肾脏细胞膜的完整性 (Bergeron *et al.*, 1987)、增加基础代谢率和能量损失 (李俊年等, 2003b; 陈竞峰等, 2005)、破坏机体内的水和钠平衡 (Dearing *et al.*, 2002; Mangione *et al.*, 2004; Li

**基金项目:** 国家自然科学基金资助项目 (30570285); 国家重点基础研究发展计划资助项目 (2007CB109102); 湖南省教育厅重点项目 (03-A037)

**作者简介:** 何岚 (1982-), 女, 硕士研究生, 主要从事动物营养生态学研究。

**收稿日期:** 2010-01-29; **修回日期:** 2010-05-05

\* 通讯作者, Corresponding author, E-mail: junnianl@163.com

et al., 2008)、降低繁殖成活率和抑制生长发育 (Lindroth and Batzli, 1984; Meyer and Richardson, 1993; Li et al., 2003)。

尽管, 植食性动物可通过试错学习及社群学习模仿避免取食含 PSMs 的食物, 但食性泛化的植食性哺乳动物在其觅食过程中, 不可避免地摄入一定量的 PSMs。因此, 动物必须对 PSMs 做出反应。肝脏和肾脏是氧化降解和排除 PSMs 的主要器官, 心脏是机体代谢的动力器官 (Organs that transport energy) (Konarzewski and Diamond, 1995), 然而, PSMs 对这些内脏器官相对重量的作用研究较少。

PSMs 对小型植食性哺乳动物生长发育的影响, 在草原田鼠 (*Microtus pennsylvanicus*) (Jung and Batzli, 1981)、根田鼠 (*Microtus oeconomus*) (李俊年等, 2003c)、布氏田鼠 (*Lasiopodomys bandtii*) (陈竞峰等, 2005)、林鼠 (*Neotoma lepida*) (Skopec et al., 2008) 等少数物种中曾有报道, 但结论尚不一致。

东方田鼠 (*Microtus fortis*) 是分布在低纬度地区的田鼠类动物之一, 为洞庭湖泊河汊区的优势种, 亦为该地区主要害鼠之一。该物种随洞庭湖水位的季节变化, 周期性地选择栖息地, 冬春枯水期 (11~5月) 在洲滩栖息, 而在夏秋涨水期 (6~10月) 则迁居湖滨农田及岗地 (吴林等, 1998)。栖息于湖滩的东方田鼠以苔草 (*Cara* spp.)、水田碎米芥 (*Cardamine lyruta*) 及双穗雀稗 (*Paspalum distichum*) 等为主要食物; 栖息于堤外岗地的田鼠则主要选择三毛草 (*Tristurn trifidum*)、白茅 (*Leptocarpus cylindricus*)、一年蓬 (*Erigeran annuus*) 等 (郭聪等, 1997; 吴林等, 1998)。关于东方田鼠生理生态学研究已有报道 (武正军等, 1996; 李俊年等, 2007), 但 PSMs 对其生理生态特征的影响迄今未

见报道。本实验的目的是在实验室条件下, 测定含酚类化合物的食物对东方田鼠体重增长和内脏器官相对湿重的影响, 以检验植物次生化化合物能影响田鼠类动物的生长发育和内脏器官发育的假设。

## 1 材料和方法

### 1.1 实验动物

实验动物为吉首大学生态研究所饲养的东方田鼠。实验动物初始种群于 2006 年 11 月活捕自湖南省沅江县茶盘洲镇洞庭湖区, 饲养于不锈钢网罩聚丙烯透明饲养笼 (464 mm × 314 mm × 200 mm), 笼内铺垫木屑, 以脱脂棉作为覆盖物。饲料为免全价颗粒饲料 (北京科奥颗粒饲料公司), 其主要成分为粗蛋白 ≥ 18%、粗脂肪 ≥ 4.1%、粗纤维 10%~15%、灰分 ≤ 9%、钙 0.9%~1.2%、磷 0.4%~0.7%, 每日添加一定数量的胡萝卜, 供给充足饮水。幼体在 20 d 断乳, 室温控制在 (22 ± 2) °C, 光照周期为 14L:10D。

### 1.2 实验食物

2008 年 11 月于湖南省沅江县茶盘洲镇洞庭湖区采集东方田鼠天然食物 (主要是禾本科草本植物双穗雀稗 (*Paspalum distichum*)、狗尾巴草 (*Setaria viridis*) 和马鞭草 (*Verbena officinalis*), 置于 -20 °C 保存, 备用。参照 Lindroth 和 Batzli (1984) 的方法提取和浓缩酚类化合物, 并测定酚类化合物浓度。参照 Dearing 等 (2000)、Lindroth 和 Batzli (1984)、Harborne (1991) 有关田鼠属天然食物中类黄酮和酚类化合物的含量, 将食物中酚类化合物浓度设置为 0%、3% 和 6%, 将食物中蛋白质浓度设置为 10% 和 20% (表 1)。为消除其他营养因子的影响, 将实验食物的能量、纤维素及矿物质等营养成分控制在同一水平。

表 1 东方田鼠实验食物的成分及营养价值

Table 1 Composition and nutritional values of experimental food fed to reed voles

成分 Composition	食物 1 Food 1	食物 2 Food 2	食物 3 Food 3	食物 4 Food 4	食物 5 Food 5	食物 6 Food 6
玉米 Corn (%)	39.0	36.0	32.5	11.0	0	0
麦麸 Wheat bran (%)	0	0	0	2.0	0	0
豆饼 Soybean (%)	0	0.5	1.0	26.0	29.0	29.0
草粉 Hay powder (%)	60.0	59.5	59.5	60.0	58.0	55.0
矿物质 Minerals (%)	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
氯化钠 NaCl (%)	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
酚类化合物 Phenolic compound (%)	0	3.0	6.0	0	3.0	6.0
淀粉 Starch (%)	0	0	0	0	9.0	9.0
粗蛋白 CP (%)	10	10	10	20	20	20
能量 DE (kJ/g)	2.19	2.20	2.15	2.14	2.16	2.18
粗纤维 CF (%)	18.19	18.20	18.60	18.70	19.00	18.90

CP: 粗蛋白; DE: 消化能; CF: 粗纤维

CP: Crude protein; DE: Digestible energy; CF: Crude fiber.

### 1.3 饲喂实验

选取健康的20 d断乳东方田鼠 120 只，按性别随机分为 12 组，每组 10 只，雌雄各半，各组实验个体无体重差异（平均  $21.1 \pm 1.9$ ， $F_{11,108} = 0.689$ ， $P = 0.747$ ）。供给实验食物及充足饮水，对照组和酚类化合物处理组饲喂时间均为 30 d 或 60 d。

每5 d测定供试实验个体体重（ $\pm 0.1$  g），计算体重增长，体重增长 = 实验结束时体重（g） - 初始体重（g）。饲喂实验结束时，处死实验个体，小心剥离其心脏、肝脏和肾脏，用干净滤纸吸干沾在器官上的血液，称重（ $\pm 0.001$  g），计算脏器指数，脏器指数 = 脏器绝对重量（mg）/ 体重（g）。

### 1.4 统计分析

采用 SYSTAT 软件包进行统计分析，文中数值以平均值  $\pm$  标准误（Mean  $\pm$  SE）表示。采用 Two-way ANVOA 分析酚类化合物和蛋白质对东方田鼠体重增长和内脏器官相对重量的影响，采用 One-way ANVOA 分析不同蛋白质水平下酚类化合物对东方田鼠体重增长和内脏器官相对重量的影响。采用 *T*-test 分析性别差异。 $P < 0.05$  为差异显著水平， $P < 0.01$  为差异极显著水平。

## 2 结果

### 2.1 体重增长

经 Two-way ANVOA 结果表明，酚类化合物对东方田鼠体重增长有显著作用（ $F = 45.602$ ， $P < 0.001$ ），而蛋白质及酚类化合物与蛋白质的交互作用差异不显著（ $F = 3.399$ ， $P = 0.068$ ； $F = 0.602$ ， $P = 0.542$ ）。

蛋白质含量为 10% 的条件下，含 3% 和 6% 酚类化合物的食物饲喂的田鼠体重在 30 d 时较对照组分别降低 16.4% 和 32.1%，显著低于对照组（ $P < 0.05$ ）。随着饲喂时间的延长，各组实验个体生长速率均不同程度下降，其中，6% 酚类化合物饲喂组实验个体下降最快。3% 和 6% 酚类化合物饲喂组实验个体体重在 60 d 时较对照组分别降低 16.3% 和 35.4%（ $P < 0.05$ ）（图 1A）。

食物蛋白质为 20% 时，含 3% 酚类化合物饲喂组实验个体体重增长与对照组相近，差异不显著（ $P > 0.05$ ），而摄食 6% 酚类化合物的实验个体体重显著降低，30 d 和 60 d 时较对照组分别降低 26.7% 和 27.1%（ $P < 0.05$ ）（图 1B）。

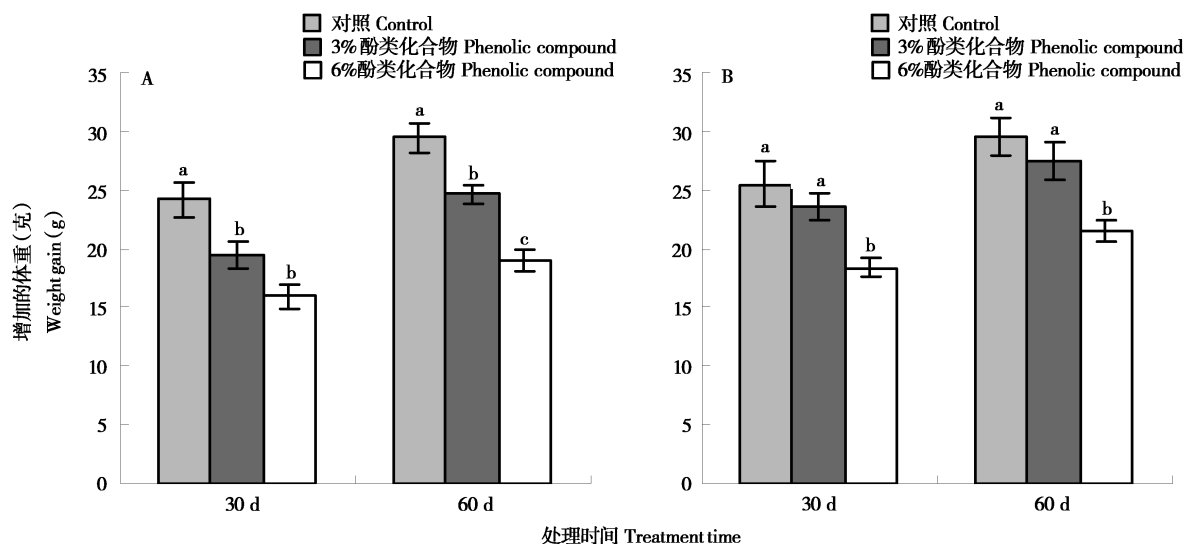


图 1 在不同浓度酚类化合物处理条件下东方田鼠的体重增长(柱形图上带有不同字母表示差异显著  $P < 0.05$ )。A:10% 蛋白质；B:20% 蛋白质

Fig. 1 Weight gain of Reed voles fed on foods containing different concentrations of phenolic compound at two protein levels(a, b, c means bearing different superscripts in the column differ significantly,  $P < 0.05$ ). A: 10% Protein; B: 20% Protein

### 2.2 内脏器官发育

经 Two-way ANVOA 结果表明，酚类化合物对东方田鼠心脏指数无显著作用（ $F = 2.614$ ， $P = 0.078$ ），蛋白质以及蛋白质与酚类化合物的交互

作用亦不显著（ $F = 0.130$ ， $P = 0.719$ ； $F = 0.003$ ， $P = 0.997$ ）。尽管酚类化合物处理的实验个体心脏相对重量较对照组增加，但无显著差异（ $P > 0.05$ ），其中，3% 酚类化合物处理的实验个体心

脏指数最低。各组实验个体雄体心脏指数高于雌体，但差异不显著 ( $P > 0.05$ ) (表2)。

表2 不同物酚类化合物饲喂下方田鼠心脏指数

Table 2 Heart indexes of Reed voles fed on diets with different concentrations of plant phenolic compound at two protein levels (Mean  $\pm$  SE)

分组 Groups	30天 30 d			60天 60 d		
	雄性 Male	雌性 Female	总指数 Total	雄性 Male	雌性 Female	总指数 Total
10% 蛋白质 10% Protein						
0% 酚类化合物 0% Phenolic compound	5.342 $\pm$ 0.055	5.112 $\pm$ 0.242	5.228 $\pm$ 0.113	4.675 $\pm$ 0.141	4.444 $\pm$ 0.224	4.559 $\pm$ 0.103
3% 酚类化合物 3% Phenolic compound	5.157 $\pm$ 0.147	4.839 $\pm$ 0.097	4.998 $\pm$ 0.093	4.427 $\pm$ 0.123	4.205 $\pm$ 0.033	4.316 $\pm$ 0.055
6% 酚类化合物 6% Phenolic compound	5.220 $\pm$ 0.054	4.994 $\pm$ 0.097	5.107 $\pm$ 0.086	4.530 $\pm$ 0.181	4.304 $\pm$ 0.187	4.417 $\pm$ 0.056
20% 蛋白质 20% Protein						
0% 酚类化合物 0% Phenolic compound	5.364 $\pm$ 0.156	5.132 $\pm$ 0.136	5.248 $\pm$ 0.135	4.611 $\pm$ 0.114	4.535 $\pm$ 0.264	4.598 $\pm$ 0.083
3% 酚类化合物 3% Phenolic compound	5.181 $\pm$ 0.156	4.875 $\pm$ 0.082	5.028 $\pm$ 0.108	4.464 $\pm$ 0.179	4.262 $\pm$ 0.142	4.363 $\pm$ 0.069
6% 酚类化合物 6% Phenolic compound	5.239 $\pm$ 0.088	5.009 $\pm$ 0.071	5.124 $\pm$ 0.151	4.501 $\pm$ 0.095	4.389 $\pm$ 0.092	4.445 $\pm$ 0.098

酚类化合物对东方田鼠肝脏指数有显著的效应 ( $F = 4.137, P = 0.019$ )，而蛋白质以及酚类化合物与蛋白质的交互作用不显著 ( $F = 0.952, P = 0.331; F = 0.411, P = 0.664$ )。与对照组相比，食物蛋白质为10%时，摄食3%和6%酚类化合物的实验个体肝脏指数在30 d时分别增加3.8% ( $P >$

0.05)和6.8% ( $P < 0.05$ )，在60 d时分别增加3.8% ( $P > 0.05$ )和6.2% ( $P < 0.05$ )。食物蛋白质为20%时，尽管酚类化合物食物饲喂的实验个体肝脏指数较对照组增加，但差异不显著 ( $P > 0.05$ )。各组实验个体雌体肝脏指数略高于雄体，但差异不显著 ( $P > 0.05$ ) (表3)。

表3 不同植物酚类化合物处理条件下东方田鼠肝脏指数

Table 3 Liver indexes of Reed voles fed on diets with different concentrations of plant phenolic compound at two protein levels (Mean  $\pm$  SE)

分组 Groups	30天 30 d			60天 60 d		
	雄性 Male	雌性 Female	总指数 Total	雄性 Male	雌性 Female	总指数 Total
10% 蛋白质 10% Protein						
0% 酚类化合物 0% Phenolic compound	45.289 $\pm$ 1.118	46.867 $\pm$ 1.514	46.078 $\pm$ 1.687 <sup>b</sup>	41.744 $\pm$ 1.475	41.770 $\pm$ 1.850	41.757 $\pm$ 1.114 <sup>b</sup>
3% 酚类化合物 3% Phenolic compound	47.605 $\pm$ 1.344	48.107 $\pm$ 1.484	47.856 $\pm$ 1.609 <sup>ab</sup>	42.754 $\pm$ 1.721	43.894 $\pm$ 1.377	43.324 $\pm$ 1.045 <sup>ab</sup>
6% 酚类化合物 6% Phenolic compound	48.923 $\pm$ 1.085	49.475 $\pm$ 1.089	49.199 $\pm$ 1.095 <sup>a</sup>	44.328 $\pm$ 1.425	44.342 $\pm$ 1.055	44.335 $\pm$ 1.182 <sup>a</sup>
20% 蛋白质 20% Protein						
0% 酚类化合物 0% Phenolic compound	46.158 $\pm$ 1.154	47.292 $\pm$ 1.065	46.725 $\pm$ 1.415	40.655 $\pm$ 1.827	42.997 $\pm$ 1.192	41.826 $\pm$ 1.039
3% 酚类化合物 3% Phenolic compound	48.249 $\pm$ 1.135	48.823 $\pm$ 2.333	47.536 $\pm$ 1.332	41.359 $\pm$ 1.582	42.929 $\pm$ 1.733	42.144 $\pm$ 1.396
6% 酚类化合物 6% Phenolic compound	48.288 $\pm$ 1.120	49.254 $\pm$ 1.505	47.771 $\pm$ 1.514	40.868 $\pm$ 1.615	43.424 $\pm$ 1.595	42.646 $\pm$ 1.722

不同小写字母表示同一列各组数据存在显著差异 ( $P < 0.05$ )

<sup>a, b</sup> means bearing different superscripts in the same column differ significantly ( $P < 0.05$ )

酚类化合物和蛋白质对东方田鼠肾脏指数有显著的效应 ( $F = 9.836, P < 0.001; F = 7.028, P =$

0.006), 且酚类化合物与蛋白质的交互作用亦达到显著水平 ( $F = 3.952, P = 0.022$ )。食物蛋白质为 10% 的条件下, 与对照组相比, 摄食 3% 和 6% 酚类化合物的实验个体肾脏指数在 30 d 时分别增加 14.6% 和 25.5% ( $P < 0.05$ ), 在 60 d 时分别增加 11.1% 和 19.7% ( $P < 0.05$ )。食物蛋白质为 20%

的条件下, 摄食 3% 酚类化合物的实验个体肾脏指数与对照组相近 ( $P > 0.05$ ), 而 6% 酚类化合物食物使实验个体肾脏指数显著增加, 其肾脏指数在 30 d 和 60 d 时较对照组个体分别增加 10.0% 和 11.0% ( $P < 0.05$ )。各组实验个体雌体肾脏指数高于雄体, 但差异不显著 ( $P > 0.05$ ) (表 4)。

表 4 不同植物酚类化合物饲喂条件下东方田鼠肾脏指数

Table 4 Kidney indexes of Reed voles fed on diets with different concentrations of plant phenolic compound at two protein levels (Mean  $\pm$  SE)

分组 Groups	30 天 30 d			60 天 60 d		
	雄性 Male	雌性 Female	总指数 Total	雄性 Male	雌性 Female	总指数 Total
10% 蛋白质 10% Protein						
0% 酚类化合物 0% Phenolic compound	7.284 $\pm$ 0.259	7.525 $\pm$ 0.271	7.404 $\pm$ 0.278 <sup>Bb</sup>	6.391 $\pm$ 0.263	6.590 $\pm$ 0.280	6.491 $\pm$ 0.195 <sup>b</sup>
3% 酚类化合物 3% Phenolic compound	8.310 $\pm$ 0.371	8.660 $\pm$ 0.344	8.485 $\pm$ 0.245 <sup>ABa</sup>	7.187 $\pm$ 0.322	7.239 $\pm$ 0.379	7.213 $\pm$ 0.255 <sup>a</sup>
6% 酚类化合物 6% Phenolic compound	9.155 $\pm$ 0.550	9.452 $\pm$ 0.313	9.290 $\pm$ 0.479 <sup>Aa</sup>	7.731 $\pm$ 0.355	7.811 $\pm$ 0.411	7.771 $\pm$ 0.337 <sup>a</sup>
20% 蛋白质 20% Protein						
0% 酚类化合物 0% Phenolic compound	7.332 $\pm$ 0.365	7.441 $\pm$ 0.150	7.387 $\pm$ 0.184 <sup>b</sup>	6.144 $\pm$ 0.310	6.682 $\pm$ 0.160	6.413 $\pm$ 0.185 <sup>b</sup>
3% 酚类化合物 3% Phenolic compound	7.359 $\pm$ 0.150	7.870 $\pm$ 0.265	7.614 $\pm$ 0.155 <sup>ab</sup>	6.464 $\pm$ 0.295	6.986 $\pm$ 0.310	6.725 $\pm$ 0.222 <sup>ab</sup>
6% 酚类化合物 6% Phenolic compound	7.985 $\pm$ 0.470	8.270 $\pm$ 0.241	8.127 $\pm$ 0.030 <sup>a</sup>	6.678 $\pm$ 0.381	7.318 $\pm$ 0.354	7.118 $\pm$ 0.275 <sup>a</sup>

不同小写字母表示同一列各组数据显著差异 ( $P < 0.05$ ), 不同大写字母表示同一列各组数据差异极显著 ( $P < 0.01$ )。

<sup>a,b</sup> means bearing different superscripts in the same column differ significantly ( $P < 0.05$ ); <sup>A,B</sup> means bearing different superscripts in the same column differ highly significant ( $P < 0.01$ )

### 3 讨论

植物酚类化合物是广泛存在于植物中的一类次生化合物, 并被认为是阻碍植食性动物摄食的有毒物质 (Dearing *et al.*, 2001; 李俊年等, 2003a)。我们的研究表明, 酚类化合物可显著抑制实验个体体重增长。与对照组相比, 食物蛋白质为 10% 时, 3% 和 6% 酚类化合物食物饲喂的实验个体体重在 30 d 时分别降低 16.4% 和 32.1%, 在 60 d 时分别降低 16.3% 和 35.4%, 显著低于对照组 ( $P < 0.05$ )。这与 Lindroth 和 Batzli (1984) 的研究结果相似。他们对橙腹田鼠 (*Microtus ochrogaster*) 的研究表明, 食物蛋白质含量为 8% 时, 饲喂 6% 单宁酸食物的实验个体在断乳后一周的生长速率极低, 且酚类化合物处理组的实验个体体重增长均受到显著抑制, 3% 和 6% 处理组田鼠体重增长较对照组田鼠降低了一倍。李俊年等 (2003) 研究表明, 食物单宁酸可显著抑制断乳根田鼠的生

长和存活率。Skopec 等 (2008) 研究发现, 给林鼠饲喂橡树 (*Quercus agrifolia*) 果实, 实验结束时其体重较初始体重下降 7%。然而, 陈竞峰等 (2005) 发现单宁酸对布氏田鼠 (*Lasiopodomys bandtii*) 体重变化无显著作用。Sorensen 等 (2005) 表明, 给林鼠饲喂杜松叶 (*Juniperus monosperma*), 食性特化的实验个体 (*Neotoma stephensi*) 体重较对照组个体增加 5.9%, 而食性泛化的个体 (*Neotoma albigula*) 体重较对照组个体下降 9%。

植食性动物摄入的 PSMs, 可通过氧化、络合形成相应降解物等途径解毒, 但摄入的 PSMs 速率高于解毒速率时, PSMs 即表现出毒效应, 例如增加基础代谢率和能量损失、影响动物个体生长发育, 甚至导致动物个体的死亡 (Lindroth and Batzli, 1984; Li *et al.*, 2003; 陈竞峰等, 2005)。相应地, 酚类化合物可与蛋白质结合, 降低酶活性, 导致蛋白质的可利用性降低 (Lindroth and Batzli, 1984)。在自然界, 蛋白质是植食性哺乳动物个体

存活和种群密度的主要限制因子 (Lochmiller, 1996)。Davis 和 Lochmiller (1995) 以及 Lochmiller 和 Buren (1993) 表明, 即使中度限制蛋白质水平即可显著降低棉鼠 (*Sigmodon hispid*) 免疫力, 导致死亡率增加。Lindroth 等 (1984) 发现, 当食物蛋白质含量少于 5% 时, 草原田鼠生长速率迅速降低。另一方面, 增加食物蛋白质含量, 可降低酚类化合物的毒素效应。我们的研究表明, 当食物蛋白质水平为 20% 时, 尽管 6% 酚类化合物处理条件下的实验个体体重增长显著低于对照组, 但 3% 酚类化合物处理组实验个体体重增长与对照组接近, 差异不显著。

在自然界, 食性泛化的植食性哺乳动物能耐受食物中许多有毒次生化合物。动物摄入的大部分植物次生化合物经消化道吸收后, 必须立即解毒, 并排出体外, 以防止在动物机体组织内聚集而中毒 (Foley, 1992; Foley and McArthur, 1994)。经消化道吸收的次生化合物, 通常经肝脏门静脉系统运送到肝脏, 在肝脏线粒体酶系统作用下, 通过肾脏排出体外 (Caldwell, 1982; Lindroth and Batzli, 1983; Foley, 1992; 李俊年等, 2003a, 2003b)。肝脏是动物的主要解毒场所, 肾脏也能降解部分次生化合物 (Freeland and Janzen, 1974)。尽管, 哺乳动物肝脏线粒体酶系统能处理许多外源性化合物, 但其处理能力受到动物种类、遗传基础和食物种类的限制。当次生化合物含量超过动物解毒能力时, 次生化合物可影响肝脏和肾脏的正常功能和形态, 从而对动物产生毒害作用。

我们的研究表明, 食物蛋白质为 10% 时, 摄食含有 3% 和 6% 酚类化合物食物的东方田鼠, 其肾脏相对重量在 30 d 时较对照组个体分别增加 14.6% 和 25.5%, 在 60 d 时较对照组个体分别增加 11.1% 和 19.7% ( $P < 0.05$ )。6% 酚类化合物使东方田鼠肝脏相对重量在 30 d 和 60 d 时分别增加 6.8% 和 6.2%, 差异显著 ( $P < 0.05$ )。食物蛋白质含量为 20% 时, 酚类化合物使东方田鼠肝脏相对重量增大, 但差异不显著; 3% 酚类化合物对东方田鼠肾脏的作用不显著, 而 6% 酚类化合物则使东方田鼠肾脏体积显著增大。说明酚类化合物对东方田鼠的负作用不仅与食物酚类化合物的含量有关, 还与食物蛋白质含量具有一定联系。蛋白质含量低时, 酚类化合物的负作用明显, 而食物蛋白质含量较高时, 只有当酚类化合物含量达到一定剂量时, 才产生毒害作用。Glick 和 Joslyn (1970) 研

究显示, 单宁酸食物使大鼠肝脏和肾脏体积显著高于对照组。然而, Bergeron 等 (1987) 报道, PSMs 可导致草原田鼠和大鼠肾脏和肝脏受损但体积并未显著增加。Jung 和 Batzli (1981) 研究表明, 用莎草科植物提取物饲喂 3 种动物, 棕色旅鼠 (*Lemmus*)、环颈旅鼠 (*Dicrostonyx torquatus*) 的肝脏和肾脏体积增大, 苔原田鼠 (*Microtus oeconomus*) 肝脏和肾脏体积变小, 而以茶叶提取物分别饲喂以上 3 种实验个体, 结果显示, 棕色旅鼠肝脏和肾脏体积显著减小, 而环颈旅鼠和苔原田鼠肝脏和肾脏体积显著增加, 由此可见, 三种实验动物因食性不同, 对植物 PSMs 毒性的反应也不同。

综上所述, 植物次生化合物不仅能抑制植食性哺乳动物的生长发育, 还会影响解毒器官的发育。植食性哺乳动物种类繁多, 觅食生态位、觅食对策和消化器官结构的差异, 对植物次生化合物的解毒过程和耐受性不同; 同时, 植物次生化合物与食物营养成分在动物消化道的相互作用亦能影响植物次生化合物对动物的负作用, 因而, 植物次生化合物对植食性哺乳动物生理生态作用仍需进一步研究。

#### 参考文献:

- Bergeron J M, Jodoin L, Jean Y. 1987. Pathology voles fed with plant extracts. *J Mammal*, **68**: 73 - 79.
- Caldwell J. 1982. The conjugation reaction in foreign compound metabolism definition, consequences and species variation. *Drug Metab Rev*, **13**: 745 - 778.
- Cheng J F, Zhong W Q, Wang D H. 2005. Effects of tannic acid food on energy metabolism in Brandt's voles (*Lasiopodomys brandtii*). *Acta Theriologica Sinica*, **25** (4): 326 - 332. (in Chinese)
- Davis R, Lochmiller R L. 1995. Splenocyte subpopulations of weanling cotton rats (*Signodon hispidus*) are influenced by moderate protein intake. *J Mammal*, **76**: 912 - 924.
- Dearing M D, Mangione A M, Karasov W H. 2000. Diets breadth of mammalian herbivores: nutrient versus detoxification constraints. *Oecologia*, **123**: 397 - 405.
- Dearing M D, Mangione A M, Karasov W H. 2001. Plant secondary compounds as diuretics: An overlooked consequence. *American Zoologist*, **41** (4): 890 - 901.
- Dearing M D, Mangione A M, Karasov W H. 2002. Ingestion of plant secondary compounds causes diuresis in desert herbivores. *Oecologia*, **130**: 576 - 584.
- Foley W J. 1992. Nitrogen and retention and acid-base status in the common Ringtail possum: evidence of the effects of allelochemicals. *Physio Zool*, **65**: 403 - 427.
- Foley W J, McArthur C. 1994. The costs of allelochemicals for mammalian herbivores: an ecological perspective. In: Chivers D J, Langer P eds. *The Digestive System in Mammals: Food, Form and*

- Function. Cambridge: Cambridge University Press, 370 – 391.
- Freeland W J, Janzen D H. 1974. Strategies in herbivory by mammals: the role of plant secondary compounds. *Am Nat*, **108**: 269 – 289.
- Glick Z, Joslyn M A. 1970. Food intake depression and other metabolic effects of tannic acid in the rat. *J Nutri*, **100**: 509 – 515.
- Guo C, Wand Y, Cheng A G, Li B, Zhang M W, Wu Z J. 1997. Study of migratory of Reed voles in Dongtinghu Lake. *Acta Theriologica Sinica*, **17** (4): 279 – 286. (in Chinese)
- Harborne J B. 1991. Ecological chemistry and biochemistry of plant terpenoids. Oxford: Oxford University Press.
- Hochman V, Kotler B P. 2006. Effect of food quality, diet preference and water on patch use by Nubian ibex. *Oikos*, **112**: 532 – 546.
- Jung H J G, Batzli G O. 1981. Nutritional ecology of microtine rodents: effect of plant extracts on the growth of Arctic microtines. *J Mammal*, **62**: 389 – 392.
- Karasov W H, Meyer M W, Darken B W. 1992. Tannic acid inhibition of amino acid and sugar absorption by mouse and vole intestine: tests following acute and subchronic exposure. *J Chem Eco*, **18** (5): 719 – 736.
- Konarzewski M, Diamond J. 1995. Evolution of basal metabolic rate and organ masses in laboratory mice. *Evolution*, **49** (6): 1239 – 1248.
- Li J N, Liu J K, Tao S L. 2003a. Effects of tannic acid on the food intake and protein digestion of root voles. *Acta Theriologica Sinica*, **23** (1): 52 – 57. (in Chinese)
- Li J N, Liu J K, Tao S L. 2003b. Metabolic costs of tannic acid in root voles (*Microtus oeconomus*). *Acta Theriologica Sinica*, **23** (9): 1816 – 1822. (in Chinese)
- Li J N, Liu J K, Tao S L. 2003. Effects of tannic acid on growth and survival in weaned Reed voles. *Acta Theriologica Sinica*, **23** (4): 321 – 325.
- Li J N, Liu J K, Tao S L. 2007. Effects of hunger and tannic acid on food intake and foraging behaviors in *Microtus fortis*. *Acta Ecologica Sinica*, **27** (11): 4478 – 4484. (in Chinese)
- Li J N, Tao S L, Liu J K. 2008. Dietary tannic acid modulate sodium balance in root voles (*Microtus oeconomus*). *Acta Ecologica Sinica*, **28** (8): 3849 – 3853.
- Lindroth R L, Batzli G O. 1983. Detoxification of some natural occurring phenolics by prairie voles: a rapid assay of glucuronidation metabolism. *Biochem Syst Ecol*, **11**: 405 – 409.
- Lindroth R L, Batzli G O. 1984. Plant phenolics as chemical defenses: effects of natural phenolics on survival and growth of prairie voles (*Microtus ochrogaster*). *J Chem Ecol*, **10** (2): 229 – 224.
- Lindroth R L, Batzli G O, Guntenspergen G R. 1984. Artificial diets for use in nutritional studies with microtine rodents. *J Mammal*, **65** (1): 139 – 143.
- Lochmiller R L. 1996. Immunocompetence and animal population regulation. *Oikos*, **76** (3): 594 – 602.
- Lochmiller R L, Buren J C. 1993. Relationship between protein nutritional status and immunocompetence in Northern bobwhite chicks. *Auk*, **110**: 503 – 510.
- Mangione A M, Dearing M D, Karasov W H. 2004. Creosote bush (*Larrea tridentata*) resin increases water demands and reduces energy availability in desert woodrats (*Neotoma lepida*). *J Chem Ecol*, **30** (7): 1409 – 1429.
- Mansoori B, Nodeh H, Modirsanei M, Kiaei M M, Farkhoy M. 2007. Influence of dietary tannic acid and polyethylene glycol on growth and intestinal D-xylose absorption of broiler cockerels and activity of serum enzymes. *British Poultry Science*, **48** (4): 489 – 495.
- Meyer M W, Richardson C. 1993. The effect of chronic tannic acid intake on Prairie vole (*Microtus ochrogaster*) reproduction. *J Chem Ecol*, **19** (7): 1577 – 1585.
- Skopec M M, Haley S, Torregrossa A, Dearing M D. 2008. An oak (*Quercus agrifolia*) specialist (*Neotoma macrotis*) and a sympatric generalist (*Neotoma lepida*) show similar intakes and digestibility of oak. *Physi Biochem Zool*, **81**: 426 – 433.
- Sorensen J S, McLister J D, Dearing M D. 2005. Plant secondary metabolites compromise the energy budgets of specialist and generalist mammalian herbivores. *Ecology*, **86** (1): 125 – 139.
- Takehito Y, Laura E L, Stephen P E, Gregor F F, Nelson G H. 2003. Rapid evolution drives ecological dynamics in a predator-prey system. *Nature*, **424**: 306.
- Wu Z J, Chen A G, Li B, Guo C, Wang Y, Zhang M W. 1996. Study of reproductive trait of Reed voles in Dong Ting Hu Lake. *Acta Theriologica Sinica*, **16** (2): 142 – 150. (in Chinese)
- Wu L, Zhang M W, Li B. 1998. Survey of food constituent of Reed voles in Dong Ting Hu Lake. *Acta Theriologica Sinica*, **18** (4): 282 – 291. (in Chinese)
- 李俊年, 刘季科, 陶双伦. 2003a. 单宁酸对根田鼠食物摄入量和蛋白质消化率的效应. *兽类学报*, **23** (1): 52 – 57.
- 李俊年, 刘季科, 陶双伦. 2003b. 根田鼠对食物单宁酸的解毒代价. *生态学报*, **23** (9): 1816 – 1822.
- 李俊年, 刘季科, 陶双伦. 2007. 饥饿和食物单宁酸对东方田鼠 (*Microtus fortis*) 食物摄入量和觅食行为的影响. *生态学报*, **27** (11): 4478 – 4484.
- 吴林, 张美文, 李波. 1998. 洞庭湖区东方田鼠的食物组成调查. *兽类学报*, **18** (4): 282 – 291.
- 陈竞峰, 钟文勤, 王德华. 2005. 单宁酸对布氏田鼠能量代谢的影响. *兽类学报*, **25** (4): 326 – 332.
- 武正军, 陈安国, 李波, 郭聪, 王勇, 张美文. 1996. 洞庭湖区东方田鼠繁殖特性的研究. *兽类学报*, **16** (2): 142 – 150.
- 郭聪, 王勇, 陈安国, 李波, 张美文, 武正军. 1997. 洞庭湖区东方田鼠迁移的研究. *兽类学报*, **17** (4): 279 – 286.