

蛋白质, 纤维素和单宁酸对东方田鼠摄食的影响

邢廷杰^{1,2}, 王 勇^{1*}, 邓武军^{1,2}, 张美文¹, 李 波¹, 朱俊霞^{1,2}

(1 中国科学院亚热带农业生态研究所, 湖南, 长沙 410125; 2 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要: 食物选择性是动物对取食生境中现存的食物种类做出的选择, 是一个复杂的生态适应过程, 与动物自身生理状及环境中食物的可利用量密切相关。单宁酸、蛋白质和纤维素是影响植食性动物食物选择的重要因素。在控制其它营养因子的条件下, 设置 10% 蛋白质 + 2.25% 纤维素 + 3% 单宁酸 (食物 1) / 6% 单宁酸 (食物 2) 和 20% 蛋白质 + 4.51% 纤维素 + 3% 单宁酸 (食物 3) / 6% 单宁酸 (食物 4) 4 个处理组, 通过自助餐式选择笼内的喂养实验, 测定单宁酸、蛋白质和纤维素对东方田鼠食物选择的影响。结果表明, 东方田鼠对 3% 单宁酸处理组食物摄食量显著高于对 6% 单宁酸处理组 ($P < 0.001$); 但东方田鼠对 6% 单宁酸食物摄食量依蛋白质浓度变化, 在 20% 蛋白质处理组的摄食量显著高于 10% 蛋白质处理组 ($P < 0.05$); 在含 3% 单宁酸处理组中, 纤维素成为影响东方田鼠摄食的主要因素, 而当单宁酸浓度增加到 6% 时, 纤维素和蛋白质对东方田鼠摄食影响差异不显著; 总之, 单宁酸、蛋白质和纤维素对东方田鼠的摄食都产生重要影响, 单宁酸对东方田鼠食物选择的影响程度最大, 纤维素次之, 蛋白质对东方田鼠摄食的影响会随单宁酸浓度的升高而增大。

关键词: 东方田鼠; 单宁酸; 蛋白质; 纤维素; 食物选择

Effects of protein, fiber, and tannic acid on food intake of *Microtus fortis*

XING Tingjie^{1,2}, WANG Yong^{1*}, DENG Wujun^{1,2}, ZHANG Meiwen¹, LI Bo¹, ZHU Junxia^{1,2}

¹ Institute of Subtropical Agriculture, Chinese Academy of Sciences, Changsha 410125, China

² Graduate School, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Abstract To maximize fitness, animals must choose food appropriate for their physiological status and dependent on the food available in the environment. Tannic acid, protein and fiber content of food affects the physiology of herbivorous mammals, so we studied the effects of these factors on food selection of *Microtus fortis*. We used laboratory paired-choice tests with four experimental diets: 10% protein + 2.25% fiber with 3% and 6% tannic acid content (foods 1 and 2, respectively), 20% protein + 4.51% fiber with 3% and 6% tannic acid content (foods 3 and 4, respectively). The four diets were presented to *M. fortis* in six paired combinations: food 1 with foods 2, 3, and 4, and food 2 with foods 3 and 4, and food 3 with food 4. *M. fortis* ate more of the diets with 3% tannic acid than those with 6% tannic acid, regardless of protein content (4.41 vs 1.83 g, 4.00 vs 2.36 g for the low and high protein diets, respectively, $P < 0.001$). Further, they ate significantly more of the 6% tannic acid diet when it was coupled with 20% protein vs 10% protein (2.36 g vs 1.83 g, respectively; $P < 0.05$). Unexpectedly, when tannic acid was low (3%): voles ate much more of the 10% protein diet than the 20% protein diet (3.21 g vs 2.01 g, respectively, $P < 0.001$). However, there was no significant difference between the intake of low and high protein diets when coupled with high (6%) tannic acid. Overall, *Microtus fortis* food intake was most strongly determined by tannic acid content, then by fiber content, and lastly by protein content (but there was no statistical difference between protein and fiber when tannic acid content was 6%).

Key Words *Microtus fortis*; tannic acid; protein; fiber; food selection

基金项目: 中国科学院知识创新资助项目 (KSCX2-YW-N-06); 中国科学院知识创新领域前沿资助项目 (0751051160)

收稿日期: 2008-12-15 修订日期: 2009-03-09

* 通讯作者 Corresponding author E-mail: wang@isa.ac.cn

食物选择性是动物对取食生境中现存的食物种类作出的选择,是一个复杂的生态适应过程,与动物自身生理状态及环境中食物的可利用量密切相关^[1]。对小型兽类来说,由于高代谢速率,使其在繁殖和哺乳阶段能量需求更难得到满足^[2],因此对生境中食物选择显得尤为重要。然而动物却拥有着“营养天赋”去摄取它们所需要的特定营养和调整食物选择以保证适当的营养平衡^[3]。此外,它们还可以迅速的从母体^[4]及其它附近同种成年个体^[5]那里获得食物选择的经验。

关于植物营养成分对动物食物选择影响的研究已有大量的报道^[6-10]。对东方田鼠食物选择的研究,李俊年等^[11-12]通过不同饥饿程度处理及单宁酸来分别考察东方田鼠对陌生食物选择学习能力和对摄入量、觅食行为的影响。本文通过控制其它营养因子来探讨单宁酸、蛋白质和纤维素对东方田鼠食物选择的影响,探讨东方田鼠的食物选择机理。

1 材料与方法

1.1 实验动物

实验动物为 2008年 6月在湖南省洞庭湖区君山农场湖滩捕获的东方田鼠(*Microtus fortis*)。将捕获的个体置于 43cm × 32cm × 19cm 塑料笼内饲养,以锯木屑为垫料,供给充足的食物和饮水,饲料为本所研制的专用颗粒饲料^[13]。实验室温度 18—25℃,光照 12L:12D。

1.2 实验食物

为了精确的控制各营养元素的水平,采用人工配置的食物测定单宁酸、蛋白质和纤维素对动物食物选择的影响,实验所用的单宁酸为国药集团化学试剂有限公司生产的分析纯化学试剂。参照 Lindroth 和 Batzli^[14]的方法将食物中 TA 的浓度设置为 3% 和 6%,将食物中蛋白质浓度设置为 10% 和 20%^[11],纤维素浓度设置为 2.25% 和 4.51%^[13]。为消除其他营养因子的影响,将食物中的能量和钙、磷矿物质等营养成分控制在同一水平。食物为各原料充分混合的粉状饲料。实验分为以下 4种食物处理:

食物 1 10% 蛋白质 + 2.25% 纤维素 + 3% 单宁酸;

食物 2 10% 蛋白质 + 2.25% 纤维素 + 6% 单宁酸;

食物 3 20% 蛋白质 + 4.51% 纤维素 + 3% 单宁酸;

食物 4 20% 蛋白质 + 4.51% 纤维素 + 6% 单宁酸。

各处理组食物组成及营养价值见表 1。

表 1 东方田鼠实验食物的组成及营养价值

Table 1 Composition and nutritional values of experimental food fed to *Microtus fortis*

成分 Composition	食物 1 Food 1	食物 2 Food 2	食物 3 Food 3	食物 4 Food 4
玉米 Corn %	25.2	22.5	11.2	8.5
大米 Rice %	25.0	25.0	12.5	12.5
面粉 Wheat flour %	14.5	13.5	10.0	9.0
豆粕 Soybean cake %	4.3	5.3	36.5	37.5
麦麸 Wheat bran %	11.0	9.5	14.0	12.5
白糖 Sugar %	10.7	10.9	6.8	7.0
奶粉 Milk powder %	1.5	2.5	1.2	2.2
食盐 Salt %	0.8	0.8	0.8	0.8
CaHPO ₄ · 2H ₂ O %	4.0	4.0	4.0	4.0
单宁酸 Tannic acid %	3.0	6.0	3.0	6.0
营养价值 Nutritional values				
蛋白质 Crude protein %	10.00	10.00	20.00	20.00
纤维素 Crude fiber %	2.25	2.25	4.51	4.51
消化能 Digestible energy / (kJ/g)	1.59	1.59	1.60	1.60

1.3 食物选择笼具

食物选择笼由 ICSC世界实验室提供的鼠类自助餐式食物选择实验笼。如图 1所示,它由两部分组成,一部分是由聚酯动物饲养笼和铁丝盖组成;另一部分包括两个食物盒及连接食物盒和饲养笼里镶嵌体。食物盒可盛装粉末状饲料供动物自由摄食,同时收集动物取食过程中黏附的粉末。因此,该选择笼可精确测定动物摄取的饲料量。

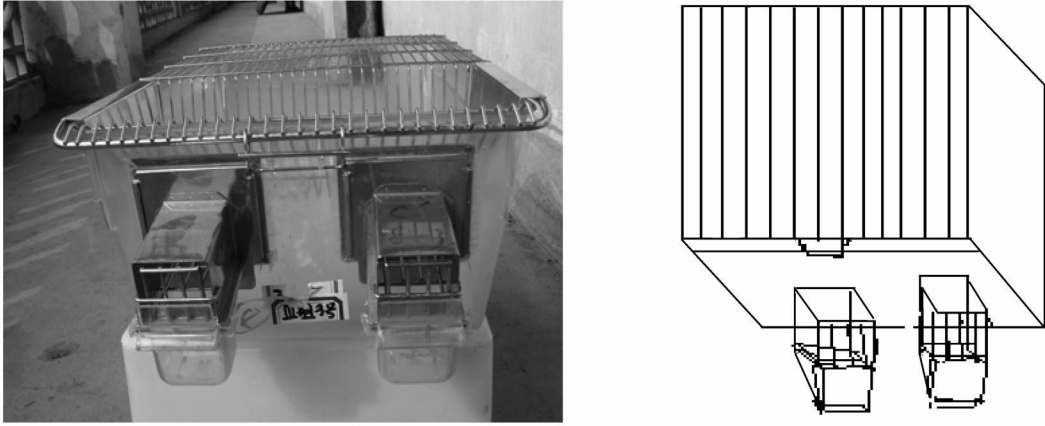


图 1 自助餐式食物选择笼
Fig 1 Cafeteria food selection cage

1.4 实验方法

野外捕获的东方田鼠在实验室适应 2周,适应期间喂给专供东方田鼠的颗粒饲料。然后挑选 64只体重相近的健康成年雄性东方田鼠 (50.4 ± 1.8) g 分为 6组,第 1—4组每组 12只,5—6组每组 8只,放入食物选择笼内,喂给专用颗粒饲料营养成分一致的粉末状饲料,适应 7d 第 8天开始进行实验。

1.4.1 测定单宁酸对东方田鼠食物选择的影响:在蛋白质和纤维素浓度一致条件下,设置含单宁酸 3%和 6%两种浓度处理的食物。本实验选用第 1、2组东方田鼠,第 1组动物提供食物 1和食物 2于选择笼左右食物盒内让其自由取食,第 2组则分别为食物 3和食物 4。

1.4.2 测定蛋白质和纤维素对东方田鼠食物选择的影响:在保持单宁酸浓度一致条件下,设置含 10%蛋白质 + 2.25%纤维素和 20%蛋白质 + 4.51%纤维素两种处理的食物。本实验选用的第 3组东方田鼠喂给食物 1和食物 3于选择笼内让其自由取食。第 4组动物则分别为食物 2和食物 4。

1.4.3 测定单宁酸、蛋白质和纤维素对东方田鼠食物选择的互作效应:在单宁酸、蛋白质和纤维素浓度都不定的条件下按一定方式组合,研究三者相互作用对东方田鼠食物选择的影响。本实验选用的第 5组东方田鼠提供食物 1和食物 4让其自由取食,第 6组动物则喂给食物 2和食物 3。

上述实验各组食物每隔 1d 调换食物盒左右顺序,连续 6d 测定食物盒左右食物投入量和剩余量,食物摄入量 = 投入量 - 剩余量。在实验期间每天对左右食物盒摄食总量少于同组平均摄食量 1/10者淘汰。

1.5 统计分析

各组都采用配对样本 *T* 检验来分别分析单宁酸、蛋白质、纤维素及相互作用对东方田鼠食物选择的影响。

2 结果

2.1 单宁酸对东方田鼠食物选择的影响

为测定单宁酸对东方田鼠食物选择的影响,实验设置食物中单宁酸的含量为 3%和 6%的 2种浓度。表 2 的结果显示,在 10%蛋白质 + 2.25%纤维素的食物处理组中,东方田鼠对含 3%单宁酸食物的平均摄食量为 (4.41 ± 0.90) g 而对 6%单宁酸食物的摄食量仅为 (1.83 ± 0.10) g 二者差异极显著 ($t = 17.124$, $df = 5$, $P < 0.001$)。从每天的摄食量来看,东方田鼠对含 3%单宁酸的食物摄食量都显著高于 6%单宁酸的食物。在 20%蛋白质 + 4.51%纤维素的食物处理组中,东方田鼠对含 3%单宁酸食物的平均摄食量为 (4.00 ± 0.12) g

而对 6% 单宁酸食物的摄食量为 (2.36 ± 0.21) g 二者差异也极显著 ($t = 7.726$, $df = 5$, $P = 0.001$)。从每天的摄食量来看,除了第 3 天和第 5 天外,东方田鼠对 3% 和 6% 单宁酸食物摄食量差异都显著。另外,东方田鼠在 10% 蛋白质浓度组对 6% 单宁酸食物的摄食量为 1.83,而在 20% 蛋白质浓度下对 6% 单宁酸食物的摄食量为 2.36g 二者差异显著 ($P < 0.05$)。上述结果说明单宁酸对东方田鼠摄食有明显的抑制作用,而高浓度蛋白质可提高对高浓度单宁酸食物摄食量。

表 2 不同浓度单宁酸食物条件下东方田鼠摄食量 / (g Mean ± SE)

Table 2 Food intake/(g Mean ± SE) of *M. fortis* fed with different content of tannic acid diet

单宁酸含量 Content of TA	第 1 天 1 st day	第 2 天 2 nd day	第 3 天 3 rd day	第 4 天 4 th day	第 5 天 5 th day	第 6 天 6 th day	平均值 Average
10% CP+ 2.25% CF							
3% 单宁酸 3% TA	4.32 ± 0.34	4.62 ± 0.26	4.62 ± 0.49	4.18 ± 0.57	4.15 ± 0.38	4.58 ± 0.53	4.41 ± 0.90
6% 单宁酸 6% TA	1.67 ± 0.27	1.48 ± 0.24	1.78 ± 0.28	1.88 ± 0.44	2.01 ± 0.43	2.17 ± 0.45	1.83 ± 0.10
T	7.301	8.093	4.335	4.258	3.880	3.019	17.124
P	0.000	0.000	0.001	0.001	0.004	0.015	0.000
总和 T total	5.98 ± 0.50	6.10 ± 0.31	6.39 ± 0.46	6.06 ± 0.87	6.16 ± 0.59	6.75 ± 0.58	6.24 ± 0.12
20% CP+ 4.5% CF							
3% 单宁酸 3% TA	3.57 ± 0.35	4.25 ± 0.34	4.16 ± 0.44	4.20 ± 0.34	4.11 ± 0.36	3.73 ± 0.22	4.00 ± 0.12
6% 单宁酸 6% TA	1.64 ± 0.37	1.83 ± 0.41	2.57 ± 0.46	2.43 ± 0.51	2.95 ± 0.47	2.73 ± 0.31	2.36 ± 0.21
T	3.028	3.378	1.967	2.442	1.662	2.224	7.726
P	0.011	0.006	0.075	0.033	0.125	0.048	0.001
总和 T total	5.22 ± 0.34	6.08 ± 0.25	6.73 ± 0.37	6.63 ± 0.47	7.06 ± 0.50	6.45 ± 0.29	6.36 ± 0.26

图 2 绘出了第 3 和第 4 组东方田鼠每天分别对 3% 单宁酸和 6% 单宁酸处理组的食物摄取量。由图可知,东方田鼠每天的摄食量不受单宁酸浓度的影响,且每天摄取总量没有显著差异 ($t = 1.262$, $df = 5$, $P = 0.263 > 0.05$)。

2.2 蛋白质和纤维素对东方田鼠食物选择的影响

为测定蛋白质和纤维素对东方田鼠食物选择的影响,实验设置了 10% 蛋白质 + 2.25% 纤维素和 20% 蛋白质 + 4.5% 纤维素两个处理组。从表 3 可以看出:当单宁酸浓度为 3% 时,东方田鼠对 10% 蛋白质 + 2.25% 纤维素食物的平均摄食量为 (3.21 ± 0.08) g 而对 20% 蛋白质 + 4.5% 纤维素食物的平均摄食量为 (2.01 ± 0.07) g 二者差异极显著 ($t = 10.991$, $df = 5$, $P < 0.001$)。从每天的摄食量来看,除第 1 天和第 3 天外,其它各天东方田鼠对上述二种食物的摄食量差异都显著。当单宁酸浓度为 6% 时,东方田鼠对 10% 蛋白质 + 2.25% 纤维素食物的平均摄食量为 (2.74 ± 0.18) g 对 20% 蛋白质 + 4.5% 纤维素食物的平均摄食量为 (2.72 ± 0.09) g 二者差异不显著 ($t = 0.124$, $df = 5$, $P = 0.906 > 0.05$),且东方田鼠每天对上述 2 种食物的摄食量也没有显著差异。结果表明:在低浓度单宁酸条件下,纤维素对东方田鼠的取食选择影响比蛋白质大;但在高浓度的单宁酸条件下,由于蛋白质能够和单宁酸结合提高蛋白表观消化率和降低消化能等作用,它们对东方田鼠的取食选择影响差别不显著。

图 3 绘制了第 1 和第 2 组东方田鼠分别在不同浓度的蛋白质和纤维素处理组中,每天对含 3% 和 6% 单宁酸饲料总摄食量。从图中可以看出,东方田鼠每天摄入的饲料量不受蛋白质和纤维素浓度的影响,而且每天摄入饲料的总量没有显著差异 ($t = 0.496$, $df = 5$, $P = 0.641 > 0.05$)。

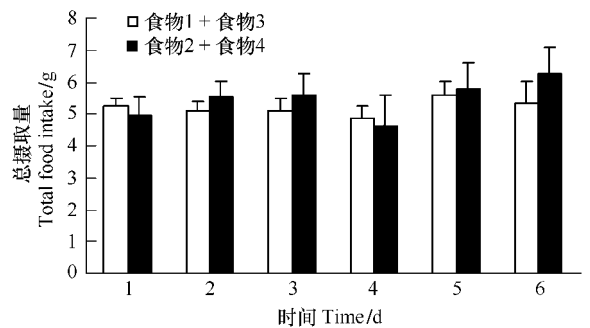


图 2 东方田鼠对不同浓度单宁酸处理组食物摄取总量 (g) (Mean ± SE)

Fig. 2 The total food intake of *M. fortis* fed with different content of tannic acid

表 3 不同浓度蛋白质和纤维素条件下东方田鼠摄食量 (g Mean±SE)

Table 3 Food intake (g Mean±SE) of *Microtus fortis* fed with different content of protein and fiber diet

蛋白质和纤维素含量 Content of CP and CF	第 1 天 1 st day	第 2 天 2 nd day	第 3 天 3 rd day	第 4 天 4 th day	第 5 天 5 th day	第 6 天 6 th day	平均值 Average
3% TA, 10% CR, 2.25% CF	3.23±0.36	3.33±0.37	2.96±0.36	2.98±0.34	3.33±0.38	3.41±0.48	3.21±0.08
20% CR, 4.51% CF	2.03±0.41	1.79±0.30	2.14±0.22	1.88±0.23	2.26±0.23	1.94±0.32	2.01±0.07
<i>T</i>	1.634	2.506	1.767	2.531	2.479	3.284	10.991
<i>P</i>	0.130	0.029	0.105	0.028	0.031	0.008	0.000
总和 Total	5.26±0.25	5.13±0.29	5.10±0.38	4.85±0.39	5.59±0.45	5.35±0.68	5.21±0.10
6% TA, 10% CR, 2.25% CF	2.18±0.40	2.70±0.35	2.97±0.34	2.31±0.41	2.89±0.40	3.38±0.44	2.74±0.18
20% CR, 4.51% CF	2.78±0.60	2.82±0.49	2.61±0.51	2.31±0.76	2.88±0.53	2.90±0.40	2.72±0.09
<i>T</i>	0.711	0.168	0.672	0.000	0.017	1.687	0.124
<i>P</i>	0.492	0.870	0.515	1	0.98	0.120	0.906
总和 Total	4.96±0.56	5.52±0.49	5.58±0.68	4.62±0.97	5.78±0.80	6.28±0.79	5.45±0.24

2.3 TA、蛋白质和纤维素的交互作用对东方田鼠食物选择的影响

为评价单宁酸、蛋白质和纤维素的交互作用对东方田鼠食物选择的影响, 选用第 5、6 组试鼠, 分别进行食物 1+食物 4 和食物 2+食物 3 的食物自助餐式选择实验, 结果见表 4。东方田鼠在对食物 1+食物 4 处理组的食物选择时, 对食物 1 (3% 单宁酸 + 10% 蛋白质 + 2.25% 纤维素) 的平均摄食量为 (4.32±0.14) g 而对食物 4 (6% 单宁酸 + 20% 蛋白质 + 4.51% 纤维素) 的平均摄食量为 (2.03±0.86) g 二者差异极为显著 ($t=15.659$, $df=5$, $P<0.001$)。从每天摄食量来看, 第 1 天没有显著差异, 其它 5 天对这 2 种食物的摄食量都存在显著差异。在对食物 2+食物 3 处理组食物的选择时, 东方田鼠对食物 2 (3% 单宁酸 + 20% 蛋白质 + 4.51% 纤维素) 的平均摄食量为 (4.32±0.14) g 对食物 3 (6% 单宁酸 + 10% 蛋白质 + 2.25% 纤维素) 的摄食量为 (2.03±0.86) g 二者差异也极为显著 ($t=26.869$, $df=5$, $P<0.001$)。从每天的摄食量来看, 东方田鼠对上述 2 种处理组食物的摄取量都存在显著差异。

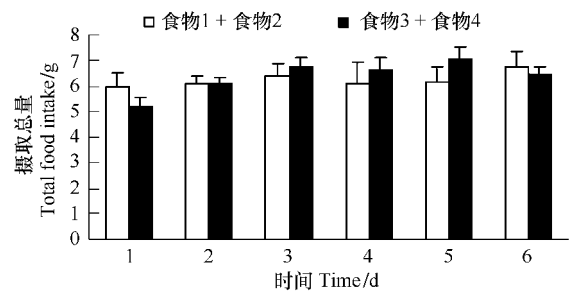


图 3 东方田鼠对不同浓度蛋白质和纤维素处理组食物摄取总量 (g Mean±SE)

Fig. 3 The total food intake of *Microtus fortis* fed with different content of protein and fiber diet

表 4 东方田鼠对不同浓度单宁酸、蛋白质和纤维素处理组食物摄食量 (g Mean±SE)

Table 4 Food intake (g Mean±SE) of *Microtus fortis* fed with different content of tannic acid and protein and fiber diet

蛋白质和纤维素含量 Content of CP and CF	第 1 天 1 st day	第 2 天 2 nd day	第 3 天 3 rd day	第 4 天 4 th day	第 5 天 5 th day	第 6 天 6 th day	平均值 Average
3% TA, 10% CP, 2.25% CF	4.08±0.53	4.72±0.45	4.50±0.48	4.23±0.46	3.80±0.44	4.56±0.45	4.32±0.14
6% TA, 20% CP, 4.51% CF	2.06±0.54	1.86±0.42	1.91±0.39	2.17±0.40	1.81±0.40	2.36±0.42	2.03±0.86
<i>T</i>	2.011	3.435	3.193	2.629	2.375	2.620	15.659
<i>P</i>	0.084	0.011	0.015	0.034	0.049	0.034	0.000
总和 Total	6.14±0.38	6.58±0.24	6.41±0.33	6.40±0.35	5.61±0.12	6.92±0.22	5.45±0.24
3% TA, 20% CP, 4.51% CF	3.89±0.44	4.76±0.27	4.63±0.43	4.86±0.29	4.33±0.23	4.85±0.21	4.32±0.14
6% TA, 10% CP, 2.25% CF	1.70±0.30	2.54±0.64	2.15±0.52	2.12±0.18	2.13±0.32	2.40±0.16	2.03±0.86
<i>T</i>	3.258	2.838	2.821	6.640	4.941	11.689	26.869
<i>P</i>	0.014	0.025	0.026	0.000	0.002	0.000	0.000
总和 Total	5.59±0.34	7.30±0.60	6.78±0.38	6.99±0.26	6.45±0.32	7.25±0.31	6.73±0.26

图 4 绘制了单宁酸、蛋白质和纤维素互作效应对东方田鼠总摄食量影响的情况。东方田鼠每天对 3% 单宁酸 + 10% 蛋白质 + 2.25% 纤维素 (食物 1) 处理组和 6% 单宁酸 + 20% 蛋白质 + 4.51% 纤维素 (食物 4) 处理组食物的总摄食量与对 3% 单宁酸 + 20% 蛋白质 + 4.51% 纤维素 (食物 3) 处理组和 6% 单宁酸 + 10% 蛋白质 + 2.25% 纤维素 (食物 2) 处理组食物总摄食量没有显著差异 ($t = 1.883$, $df = 5$, $P = 0.118 > 0.05$)。上述结果说明单宁酸、蛋白质和纤维素的互作效应对东方田鼠总摄食量没有显著影响。

3 讨论

在其它营养因子一致的情况下, 东方田鼠取食偏向于含较低浓度单宁酸的食物。这与单宁酸能够降低食物的表观消化率甚至引起肠胃消化道的糜烂有关^[15]。李俊年等^[11]采用食物平衡法证明在食物含蛋白质为 10% 的条件下, 单宁酸对根田鼠食物蛋白质消化率的抑制作用随着浓度的增加而增强。但这种抑制作用随着蛋白质浓度的增加而减弱, 这和本文的结论一致: 在 20% 蛋白质条件下, 东方田鼠对 6% 单宁酸食物的摄取比例明显高于 10% 蛋白质食物。Brooker 等^[16]认为蛋白质之所以能够降低单宁酸对反刍动物摄取和消化的

这种负作用, 是因为它能够和单宁酸黏合形成一种复杂的复合物, 而反刍动物瘤胃里的一种特殊的链球菌 (*Streptococcus caprinus*) 能够降解这种复合物。但对单胃动物而言, 它们则可以通过分泌富含脯氨酸的唾液来适应单宁酸的食物^[17]。通常动物只能忍受一定量的含单宁酸等次生物质, 动物对含单宁酸食物的摄取速率很可能取决于自身的降解及排泄这些毒素的能力^[18], 而降解和转化过程需要消耗自身能量、蛋白质和水^[19-20]。因此, 补充的能量和蛋白质能增加它们摄取单宁酸的能力^[6], 进而影响着动物对食物的选择。Pehrson A^[21]认为动物对食物项目的选择是以蛋白质, 能量等正营养因子和单宁酸等次生化化合物负营养因子的含量为依据的。

在 3% 单宁酸条件下, 东方田鼠取食明显偏向于 10% 蛋白质 + 2.25% 纤维素的食物, 而非 20% 蛋白质 + 4.51% 纤维素的食物。这可能和东方田鼠是草食性动物, 东方田鼠在洞庭湖区主要取食湖滩中的苔草和碎米荠^[22]有关。由于粗纤维对植食性动物的负营养作用, 因而在低浓度的单宁酸条件下, 纤维素对其影响比蛋白质大。在低浓度单宁酸条件下, 选择含量较低的纤维素, 而非高浓度蛋白质, 这是东方田鼠对纤维素和蛋白质对其生理影响反馈的适应选择。另外在 6% 单宁酸条件下, 东方田鼠对 10% 蛋白质 + 2.25% 纤维素和 20% 蛋白质 + 4.51% 纤维素这两组食物的选择没有显著差异, 进一步证明了上述观点。觅食者在特定的环境中总是选择最佳的食物, 使觅食者的适合度达到最大, 这种适应机制很可能与东方田鼠能依不同栖息地的植被结构调整摄食对象, 适应湖区生活环境的灾变性变化^[22]的经历有关。

在测定 TA、蛋白质和纤维素 3 种物质的交互作用对东方田鼠食物选择影响的过程中, 东方田鼠显著地取食 3% TA 的食物, 而不同浓度的蛋白质和纤维素对这种选择影响较小。由此可见, 单宁酸对东方田鼠食物选择的影响比蛋白质和纤维素大。这很可能与最佳生境湖滩中主要取食种单宁酸浓度较低, 东方田鼠对较高浓度单宁酸食物没有适应有关。在进行本实验之前, 对东方田鼠主要取食的植物, 红穗苔草、短柱苔草、藨草和碎米荠^[22]的单宁酸进行测定, 浓度分别为 0.13%, 0.22%, 0.21% 和 0.11%。因此, 当食物中单宁酸浓度增加到 3% 和 6% 时, 单宁酸的浓度就成为东方田鼠食物选择的决定因素, 而其它营养因子的影响相对较小。

影响动物食物选择的因素可分为环境中的因素和自身的因素。环境中的因素包括捕食风险, 植物营养质量和防卫次生物质等。边疆晖等^[10]研究了捕食风险对高原鼠兔食物项目的选择。他们认为在捕食水平增大时, 高原鼠兔并不是摄食能量较高的大食物, 而是选择处理时间较短的小食物, 这种觅食格局反映了能量摄取与风险避免间的权衡。Anne L. Rutten 等^[23]通过蛎鹬对海扇类取食大小的研究也得出相似的结论。营养假

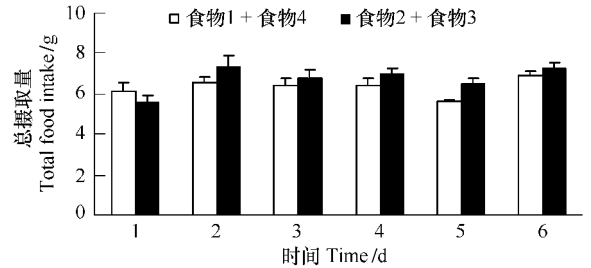


图 4 东方田鼠对不同浓度 TA、蛋白质和纤维素食物摄取总量 (g Mean ± SE)

Fig 4 The total food intake of *M. fortis* fed with different content of TA and protein and fiber diet

设认为动物的食物选择通常以植物蛋白质或能量等营养成分的含量为依据^[24],然而自然界植物物理或化学防卫机制使得这种选择受到一定的限制。Burriti和Provenza^[25]认为对含毒素植物摄取量取决于植物营养的种类和含量以及与毒素相互作用的作用。因此,动物的食物选择是对植物质量和防卫次生物质的一种营养适应对策。自身因素包括饥饿程度、繁殖和妊娠时期及个体取食经验等。李俊年等^[26]在不同营养状态下测试了东方田鼠对陌生食物选择学习的能力,结果表明,在实验室条件下饱食动物较饥饿和饥饿+食物短缺的动物学习选择摄食陌生食物的倾向较强。另外由于繁殖和妊娠时期母兽营养需求的增加,一方面通过增加摄取量,另一方面选择营养质量较高的物质来满足机体生理需要^[27]。再次,个体取食经验对动物以后的食物选择产生重要的影响。植食性动物通常选择在幼体时通过母体或其他同种成年个体传递信息而熟悉的营养质量较高的食物^[45]。Boyle and McLean^[28]认为摄取过次生物质的动物会在生理和形态上产生变化,因而能够忍受更高的毒素,在以后的食物选择中,能够摄取更多含次生物质的食物。总之,食物的选择是一个复杂生理和生态适应的过程,是动物在长期的自然进化过程中形成的一种营养适应对策。

李俊年等^[11]在10%蛋白质条件下,根田鼠对3%和6%TA的食物摄取量在1—5d都显著比空白组低,但在20%蛋白质条件下,对3%和6%TA摄取量都与对照组相近,并解释这可能是根田鼠对TA适应的结果。然而本研究结果表明,10%蛋白质与20%蛋白质处理组,3%单宁酸与6%单宁酸处理组以及交互作用各处理组间总摄取量都没有显著差异。这可能是由于在实验室条件下,东方田鼠活动方式相同,消耗能量差异不大导致摄取总量一致的原因。然而降解和转化不同浓度的TA所需要的能量也可能不同,因此对这一现象还需要生理实验的进一步探讨。

References

- [1] Li J S, Song Y N, Zeng Z G. Food selectivity and influence factors in ruminants. *Acta Theriologica Sinica*, 2003, 23(1): 66-73
- [2] Kleiber M. Metabolic turnover rate: a physiological meaning of the metabolic rate per unit body weight. *Journal of Theoretical Biology*, 1975, 53: 199-204.
- [3] Richter C P. Total self-regulatory functions in animals and human beings. *Harvey Lecture Series*, 1943, 38: 63-103.
- [4] Biko A, Altenbacker V, Hudson R. Transmission of food preferences in the rabbit: the means of information transfer. *Physiology and Behavior*, 1994, 56: 907-912.
- [5] Gale B G, Stein M. Demonstrator influence on observer diet preference: Analyses of critical social interactions and olfactory signals. *Animal Learning & Behavior*, 1985, 13: 31-38.
- [6] Wang J, Provenza F D. Food deprivation affects preference of sheep for foods varying in nutrients and a toxin. *Journal of Chemical Ecology*, 1996, 22: 2011-202.
- [7] Catanese E, Distel R, Amougy J, Rodriguez R, Okano B, Azadun M. Diet selection by calves facing pairs of nutritionally complementary foods. *Livestock Science*, 2009, 120: 58-65.
- [8] Anderson F C, Lary D H, George B R. Diet and habitat selection by cattle: the relationship between skin- and gut-defense systems. *Applied Animal Behaviour Science*, 2004, 88: 187-208.
- [9] Provenza F D, Villalba J J, Dziba L E, Atwood S B, Banner R E. Linking herbivore experience, varied diets, and plant biochemical diversity. *Small Ruminant Research*, 2003, 49: 257-274.
- [10] Bian J H, Zhou W Y. Influence of predation risk on selection of food sizes for Plateau Pikas. *Theriologica Sinica*, 1999, 19(4): 254-261.
- [11] Li J N, Liu J K, Tao S L. Effects of tannic acid on food intake and protein digestibility of root voles. *Theriologica Sinica*, 2003, 23(1): 52-57.
- [12] Li J N, Liu J K, Tao S L. Effects of hunger and tannic acid on food intake and foraging behaviors in *Microtus fortis*. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(11): 4478-4484.
- [13] Wu Z J. Growth and development of Yangtze vole (*Microtus fortis alpinorum*) in Dongting Lake area. *Chinese Journal of Zoology*, 1996, 31(5): 26-30.
- [14] Lindroth R L, Batzli G O. Plant phenolics as chemical defense: effects of natural phenolics on survival and growth of prairie voles (*Microtus ochrogaster*). *Journal of Chemical Ecology*, 1984, 10: 229-244.
- [15] Dawson J M, Buttery P J, Jenkins D, Christopher D W. Effects of dietary quebracho tannin on nutrient utilization and tissue metabolism in sheep and rats. *Journal of Scientific Food and Agriculture*, 1999, 79: 1423-1430.

- [16] Brooker J D, O' Donovan L A, Skene I, Clarke K, Blackall L, Muslera P. Streptococcus caprinus sp. nov. a tannin-resistant ruminal bacterium from feral goats. *Letters in Applied Microbiology*, 1994, 18: 313-318.
- [17] Hageman A E, Robbins C T. Specificity of tannin-binding salivary proteins relative to diet selection by animals. *Journal of Zoology*, 1993, 71: 628-633.
- [18] Foley W J, McArthur C. The effects and costs of allelochemicals for mammalian herbivores: an ecological perspective // Chivers D, J Langer P. eds. *The Digestive System in Mammals: Food, Form and Function*. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 1994: 370-391.
- [19] Illius A W, Jessop N S. Modeling metabolic costs of allelochemical ingestion by foraging herbivores. *Journal of Chemical Ecology*, 1995, 21: 693-719.
- [20] Illius A W, Jessop N S. Metabolic constraints on voluntary intake in ruminants. *Journal of Animal Science*, 1996, 74: 3052-3062.
- [21] Pehrson A. Winter food consumption and digestibility in caged mountain hares. *Journal of Mammalian Biology*, 1984, 65: 231-239.
- [22] Wu L, Zhang M W, Li B. Studies on the food composition of *Microtus fortis* in Dongting Lake area. *Theriologica Sinica*, 1998, 18(4): 282-291.
- [23] Anne L R, Kees O, Bruno J, Simon V. Optimal foraging on peribius prey: risk of bill damage reduces optimal prey size in oystercatchers. *Behavioral Ecology*, 2006, 17: 297-302.
- [24] Nolte and Provenza F D. Food preference in lambs after exposure to flavors in solid foods. *Applied Animal Behaviour Science*, 1992, 32: 337-347.
- [25] Burritt E A, Provenza F D. Role of toxins in intake of varied diets by sheep. *Journal of Chemical Ecology*, 2006, 26: 1991-2005.
- [26] Li J N, Liu J K, Tao S L. Studies on the learning of preference of new food in red voles (*Microtus fortis*) with different nutritional status. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(11): 2492-2496.
- [27] Post D M, Ambius T S, Home E A, Goheen J R. Sexual segregation results in differences in content and quality of bison (*Bos bison*) diets. *Journal of Mammalian Biology*, 2001, 82: 407-413.
- [28] Boyle R R, Mckean S. Constraint of feeding by chronic ingestion of 1,8-cineole in the brushtail possum (*Trichurus vulpecula*). *Journal of Chemical Ecology*, 2004, 30: 757-775.

参考文献:

- [1] 李俊生, 宋延龄, 曾治高. 反刍动物的食物选择及其影响因素. *兽类学报*, 2003, 23(1): 66-73.
- [10] 边疆晖, 周文杨. 捕食风险对高原鼠兔食物大小选择的影响. *兽类学报*, 1999, 19(4): 254-261.
- [11] 李俊年, 刘季科, 陶双伦. 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*, 2003, 23(1): 52-57.
- [12] 李俊年, 刘季科, 陶双伦. 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*, 2007, 27(11): 4478-4484.
- [13] 武正军. 东方田鼠长江亚种 (*Microtus fortis calamonum*) 的生长与发育. *动物学杂志*, 1996, 31(5): 26-30.
- [22] 吴林, 张美文, 李波. 洞庭湖区东方田鼠的食物组成调查. *兽类学报*, 1998, 18(4): 282-291.
- [26] 李俊年, 刘季科, 陶双伦. 在不同营养状态下东方田鼠对陌生食物选择学习的研究. *生态学报*, 2003, 23(11): 2492-2496.