

单宁酸对棕色田鼠和小鼠食物选择、日食量 和蛋白质消化率的影响

郭彩茹, 路纪琪

(郑州大学生物工程系, 郑州 450001)

【摘要】 目的 用不同浓度单宁酸(tannic acid, TA)处理后的花生喂养棕色田鼠(*Lasiopodomys mandarinus*)和小鼠(*Mus musculus*),研究单宁酸对两种鼠食物选择倾向、食物摄入量、蛋白质消化率的影响。方法 本研究的设计如下:1)选择一批棕色田鼠和小鼠,单笼饲养,自由饮水。用正常花生饲喂二周实验用棕色田鼠和小鼠,使其适应这种食物;2)随机选出棕色田鼠和小鼠各10只(雌雄各半),单笼饲养。用经0%、5%、10% TA处理的花生饲喂供试鼠一周,观察和记录两种鼠对TA处理后花生的选择和取食特征;3)随机选出18只棕色田鼠和18只小鼠,单笼饲养,并各分为3组(每组均为6只),按两种鼠分别命名为对照组、低单宁酸组、高单宁酸组,并分别用经0%、5%和10%TA处理的花生饲喂一周,测定两种鼠的食物摄入量;同时收集粪便,用凯氏定氮仪测定粗蛋白含量,计算蛋白质消化率。结果 1)棕色田鼠和小鼠均优先选择无TA食物($P < 0.001$),二者间差异达显著性水平($P < 0.001$);2)食物中的TA降低棕色田鼠和小鼠的相对日食量($P < 0.001$)和食物中蛋白质的消化率,随TA含量的升高,棕色田鼠和小鼠的相对日食量和蛋白质消化率均显著下降。结论 TA降低棕色田鼠和小鼠的食物摄入量和食物中蛋白质的消化率。TA对鼠类的食物摄入量和蛋白质消化率的影响有种间差异性,小鼠对TA的适应性更强。

【关键词】 单宁酸;棕色田鼠;小鼠;食物选择;蛋白质消化率

【中图分类号】 Q95-331 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1671-7856(2009)11-0042-05

Effect of Tannic Acid on Food Selection, Food Intake and Protein Digestion Rate in Mandarin Vole and Mice

GUO Cai-ru, LU Ji-qi

(Department of Bioengineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

【Abstract】 Objective To investigate the effects of Tannic acid(TA) on food selection, food intake, and protein digestion rate between Mandarin vole, *Lasiopodomys madarinus*, and mice, *Mus musculus*, and to analyze the adaptation of small rodents to those food resources with Tannic acid. **Methods** The procedure of this research were listed as follows: 1) Mandarin voles were live trapped from farmland in Xinzheng, Henan, China; while the mice were provided by experimental animal center of Henan Province. All the animals were singly raised in PVC cages (350 mm × 300 mm × 190 mm). Tested animals were fed with untreated peanuts to let them familiar to tested food item; 2) three sets of peanuts were soaked in TA solutions with a concentration of 0%, 5%, and 10%, respectively, for 48 hour, Then 10 Mandarin vole and 10 mice were randomly assigned and given *ad libitum* access to water for investigation. Tested animals were fed with treated peanuts for 7 days, and selection and consumption on treated peanuts by two rodent species were checked and recorded. 3) Eighteen randomly selected Mandarin voles were

[基金项目]国家重点基础研究发展计划(2007CB109106),郑州大学引进人才科研基金资助。

[作者简介]郭彩茹(1982-),女,硕士生,主要从事动植物协同进化研究。

[通讯作者]路纪琪。E-mail: roadjq@163.com

categorized into three groups, and 6 individuals in each group. The groups were titled as control groups, low TA group, and high TA group, respectively. The tested animals of control group were provided with 0% TA-treated-peanuts, while the low TA group with 5% TA-treated-peanuts, and the high TA group with 10% TA-treated-peanuts. On the next morning, we checked and recorded the remained peanuts to evaluate intake rate of tested animals, we also collected the oven-weight of faeces, to evaluate the digestion rate of protein within food. The check and record lasted 7 days. We randomly chose 18 mice and designed an experiment as the same as that in Mandarin vole above mentioned. **Results** 1) Mandarin vole and mice preferred the food items with low TA level ($P < 0.001$) and there was significant difference between two tested rodent species ($P < 0.001$). 2) Daily consumed food and digestion rate of protein decreased significantly with increasing of TA in food both in Mandarin vole and mice ($P < 0.001$). **Conclusion** Food items with TA will significantly decrease the of quantity of food intake and digestion rate of protein within food, whereas the extent of this effect might differed among animals experience under different evolutionary history. Mice is more adaptation for TA than Mandarin vole.

[Key words] Tannic Acid; *Lasiopodomys mandarinus*; *Mus musculus*; Food selection; Digestion rate of protein

单宁(Tannin)是一类在植物果实中普遍存在的酚类化合物。依据其化学特性,可分为水解单宁和缩合单宁。单宁酸(Tannic acid, TA)是水解单宁中最为常见的一种,是植物阻遏植食性动物取食的防卫性化合物^[1,2],能够与唾液蛋白酶结合而降低食物的适口性。在动物消化道内部,单宁酸还可与植物蛋白形成复合物,抑制微生物发酵,从而降低食物中能量的可利用性,同时影响动物肾脏和肝脏的功能,进而导致动物体重减轻,内源氮损失,甚至死亡^[3,4]。因此,目前普遍认为 TA 在植物应对昆虫和食果脊椎动物的捕食方面具有化学威慑作用。

在栎属(*Quercus*)不同种类植物的坚果中,TA 的含量变化较大。如红栎类的红栎(*Quercus rubra*)橡子有较高的 TA 含量(6% ~ 10%),而白橡(*Q. albus*)橡子则含有较低的 TA(0.5% ~ 2.5%)^[4-7]。在自然条件下,橡子在许多动物特别是鼠类的重要食物。动物对 TA 承受能力的差异,在某种程度上可能反映了物种间的食性差异及其适应能力的强弱^[8]。已有学者就 TA 对荒漠林鼠(*Neotoma lepida*)^[9]、黄腹田鼠(*Microtus ochrogaster*)^[10]、草原田鼠(*Microtus pennsylvanicus*)^[11]、东方田鼠(*Microtus fortis*)^[12]、及根田鼠(*Microtus ecomamus*)的食物摄入量、觅食行为、蛋白质消化率、基础代谢率、幼体存活率、生长发育等进行过研究^[13-15]。研究表明,植食性哺乳动物对 TA 的反应,不仅具有明显的种间差异,更与食物中蛋白质、纤维素及能量的多少有密切关系。棕色田鼠(*Lasiopodomys mandarinus*)主要分布于中国中部地区,是重要的农田害鼠。本研究以棕色田鼠和小鼠(*Mus musculus*)为对象,分析比较两种动物在不同 TA 浓度条件下在食物选择、日食量和蛋白质消化率等方面的差异,探讨农田害鼠防治的新途径。并检验植物次生化合物能降低植食性小型

哺乳动物食物摄入量和蛋白质消化率的假设。

1 材料和方法

1.1 实验动物

以棕色田鼠和小鼠为实验动物。棕色田鼠为郑州大学动物生态研究所饲养,其初始种群(2007年10月)捕捉于河南省新郑市农田(34°52'N, 113°85'E)。将健康个体置于350 mm × 300 mm × 190 mm 的聚乙烯标准饲养笼内饲养,笼内铺垫锯末,以脱脂棉作为巢材,并供应充足的水和兔饲料(河南省实验动物中心生产)。室温控制在(20 ± 1)℃,光照周期为12L:12D。以非同胞成体作为实验个体。供试的棕色田鼠平均体重 23.48 ± 2.48 g(n = 20)。小鼠为河南省实验动物中心提供的35日龄健康白色昆明系鼠,平均体重为 20.49 ± 1.94 g(n = 20)(合格证号:0003433)。

1.2 实验食物

用经不同浓度的 TA 处理的花生饲喂供试动物,以分析单宁酸对动物食物选择、日食量和蛋白质消化率的影响。花生购自郑州市农贸市场,单宁酸为天津科密欧化学试剂有限公司出品的分析纯化学试剂。选取完好的花生,分别在0%、5%和10%的TA溶液中浸泡48 h后,置于40℃烘箱中烘8 h备用。在花生的基部钻一小孔,用细钢丝把一塑料牌拴在小孔上,每个塑料牌上都有唯一的编号,可用来辨别被动物取食情况。

1.3 饲喂实验

根据研究内容,饲喂实验分三个阶段进行:首先选择一批健康的棕色田鼠和小鼠,分别单只饲养,供给充足饮水。用正常花生饲喂7 d,使其对受试食物产生一定的适应性;然后随机选出棕色田鼠和小鼠各10只(雌雄各半),测量并记录受试动物的体重。

然后用经 0%、5%、10% TA 处理的花生饲喂,观察和记录各处理组的花生投放量和剩余量,以分析两种鼠对 TA 处理后花生的选择倾向和取食特征。观察和记录持续 7 d;最后随机选出 18 只棕色田鼠和 18 只小鼠,并各分为 3 组(每组均为 6 只,且雌雄对半),按两种鼠分别命名为对照组、低单宁酸组、高单宁酸组。对照组用经 0% TA 处理的花生饲喂,低单宁酸组用经 5% TA 处理的花生饲喂,高单宁酸组用经 10% TA 处理的花生饲喂。观察和记录两种鼠的食物摄入量;同时收集粪便,置 100℃烘箱中烘至恒重,用凯氏定氮仪测定粗蛋白含量,计算蛋白质消化率。观察和记录持续 7 d。

采用 Drozd^[16] 及 Robbins^[17] 的公式计算实验个体对 TA 食物的日食量和蛋白质的消化率。为排除体重对棕色田鼠和小鼠日食量的影响,将日食量除以体重,再乘以 100,记为相对日食量。

相对日食量 = (投入食物量 - 剩余食物)g / 体重 g × 100

蛋白质消化率 = (摄入食物中蛋白质含量 - 粪便中蛋白质含量) / 摄入食物中蛋白质质量 × 100%。

1.4 统计分析

采用 SPSS for Windows (version 13.0) 对研究结果进行统计分析。用可重复的双因素方差 (General linear model Repeated Measures) 分析 TA 浓度、鼠种对动物取食倾向和相对日食量的影响。用双因素方差分析 (General linear model univariate) TA 浓度和鼠种对蛋白质消化率的影响。

2 结果

2.1 单宁酸条件下的食物选择

当经 0%、5%、10% TA 处理的食物(花生)都存在时,棕色田鼠和小鼠均优先选择无 TA 的食物 ($P < 0.001$),且两种鼠之间有显著差异 ($P < 0.001$)。从时间上来看,棕色田鼠和小鼠的取食倾向随时间的变化有差异 ($P < 0.05$) (图 1)。棕色田鼠从第 1 天至第 7 天取食无 TA 食物占总食物摄入量的 70% 以上,对 5% TA 食物和 10% TA 食物摄入量均较低;而小鼠从第 1 天至第 7 天,对不同 TA 浓度食物的选择没有明显差异;至第 4 天时,小鼠选择 0% TA 食物的比例有所上升,占总食物摄入量的 60%;从第 5 天至第 7 天,取食 0% TA 食物的比例逐渐达到了总食物摄入量的 70%,而取食含 TA 食物的比例则逐天降低至不足 30%。

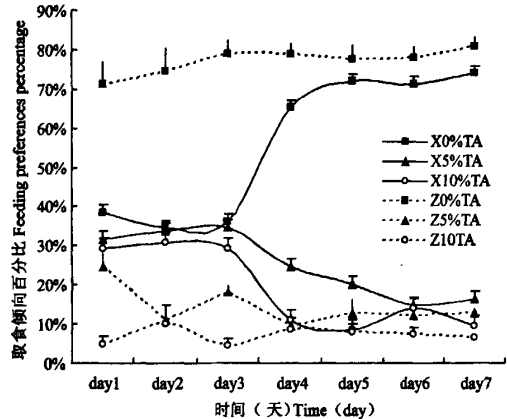


图 1 棕色田鼠和小鼠对经不同浓度单宁酸处理食物的选择

Fig. 1 Selection of Mandarin vole and mice for food item treated with different TA concentrations

注:Z-棕色田鼠 X-小鼠

Note: Z-*Lasiopodomys mandarinus* X-*Mus musculus*

2.2 单宁酸对棕色田鼠和小鼠相对日食量的影响

TA 处理显著降低棕色田鼠和小鼠的相对日食量 ($P < 0.001$),TA 对棕色田鼠相对日食量的影响大于对小鼠的影响 ($P < 0.001$) (图 2)。随着时间的推移,小鼠和棕色田鼠各处理组的相对日食量没有显著变化 ($P = 0.208$),从饲喂的第 1 天至第 7 天,对照组棕色田鼠的相对日食量最大,平均相对日食量为 19.18 ± 1.96 g,低 TA 组和高 TA 组棕色田鼠相对日食量分别降低为 15.52 ± 2.30 g 和 13.15 ± 1.89 g。TA 对小鼠相对日食量的影响与棕色田鼠相似。对照组小鼠 7 d 的相对日食量为 23.61 ± 1.92 g,低 TA 组和高 TA 组小鼠相对日食量分别为 19.13 ± 2.88 g 和 20.24 ± 2.3 g。

2.3 单宁酸含量对棕色田鼠和小鼠食物蛋白质消化率的影响

TA 处理显著降低了棕色田鼠 ($P < 0.001$) 和小鼠 ($P < 0.001$) 食物蛋白质消化率 (图 3)。随着 TA 含量的增加,食物中蛋白质消化率逐渐降低,但 TA 对两种鼠食物蛋白质消化率影响程度不同。对照组棕色田鼠对食物蛋白质消化率为 63.19%,低 TA 组棕色田鼠对食物蛋白质消化率为 39.91%,降低了 36.84%,高 TA 组棕色田鼠的食物蛋白质消化率为 28.33%,降低了 55.23%。对照组小鼠食物蛋白质消化率为 74.63%,低 TA 组小鼠食物蛋白质消化率为 53.29%,降低了 28.4%,高 TA,小鼠的食物蛋白质消化率为 44.09%,降低了 40.9%。

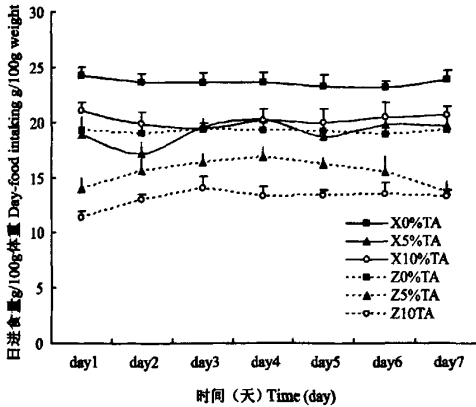


图 2 不同浓度单宁酸处理后棕色田鼠和小鼠的日食量

Fig. 2 Daily intake of Mandarin vole and mice for food treated with different TA concentrations

注:Z-棕色田鼠 X-小鼠

Note:Z-*Lasiopodomys mandarinus* X-*Mus musculus*

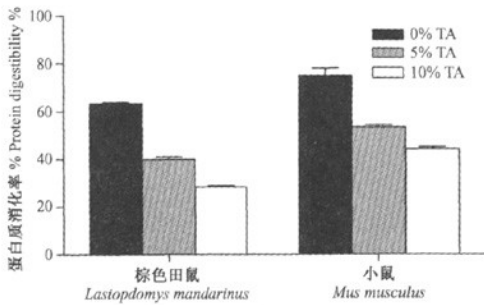


图 3 单宁酸处理后棕色田鼠和小鼠蛋白质消化效率

Fig. 3 Difference of digestion rate of protein between Mandarin vole and mice under Tannic acid condition

3 讨论

棕色田鼠和小鼠均优先选择无 TA 的食物,其次选择低 TA 的食物,而极少选择高 TA 的食物。此结果符合动物最优觅食理论^[18,19]及植物对植食性动物的最优防卫对策 (optimal defense strategy)^[20,21]。棕色田鼠和小鼠之间有显著差异 ($P < 0.001$),棕色田鼠在实验的第一天就表现明显的优先取食无 TA 的食物,而小鼠自饲喂的第 3 天起才表现优先取食无 TA 的食物。这可能是由于棕色田鼠的野生经历对其觅食活动起重要提示作用,使其能够通过味觉迅速调节食物的选择倾向和摄入量。而小鼠则缺乏取食含 TA 食物的经验,必需通过试错学习,进而改

变觅食行为,所以对含 TA 的食物反应比较慢。

TA 显著降低棕色田鼠和小鼠的相对日食量 ($P < 0.001$),表明 TA 对棕色田鼠和小鼠食物摄入具有抑制作用,这一结果与 TA 对草甸田鼠、根田鼠和东方田鼠的食物摄入的抑制作用相似^[11-13]。棕色田鼠和小鼠对经 5% 和 10% TA 处理的食物相对日食量没有明显的差异,可能是因为实验仅提供一种食物,棕色田鼠和小鼠在饥饿而没有其它可供选择的的食物时,也摄入一定量含单宁酸的食物,以获取维持生存所需的营养物质(图 2)。同时也说明动物消化系统和解毒系统可使其适应 TA 的负作用,使机体具有一定的耐受 TA 的能力。李俊年等发现 TA 能显著增加根田鼠尿液葡萄糖醛酸分泌量,尿液中 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 含量随食物中 TA 的增加而升高,从而增加动物对 TA 的代谢价,使其对单宁酸有一定的耐受性^[15]。TA 对棕色田鼠食物摄入量的影响大于对小鼠食物摄入量的影响 ($P < 0.001$),其原因可能在于棕色田鼠营地下生活,主要以绿色植物为食,其食物多为含汁液丰富、口感较好的根、茎、叶、果实等部分^[22]。绿色植物中 TA 含量一般为 3% ~ 6%^[23]。小鼠的野生祖先食性相对较杂,对 TA 可能有进化上的适应性。对于具体的适应和解毒机制尚需进一步研究。

TA 显著降低棕色田鼠 ($P < 0.001$) 和小鼠 ($P < 0.001$) 对食物中蛋白质消化率,且随着浓度的升高,TA 对棕色田鼠和小鼠食物蛋白质消化率的抑制作用明显增强。相对而言,TA 对小鼠消化率的抑制作用较弱,换言之,小鼠对 TA 的耐受能力高于棕色田鼠。表明 TA 对动物蛋白质消化率的作用存在物种间差异。Lindroth 也发现实验室小鼠对 TA 的耐受能力明显高于野生的草原田鼠^[24]。

综上所述,在经 0%、5%、10% TA 处理的食物同时存在时,棕色田鼠和小鼠均优先选择 0% TA 食物。TA 降低棕色田鼠和小鼠的相对日食量,抑制棕色田鼠和小鼠食物蛋白质的消化率。随着食物中 TA 含量升高,棕色田鼠和小鼠的相对日食量明显减少、蛋白质消化率则显著下降;TA 对鼠类的相对日食量和蛋白质消化率的影响有种间差异性。研究结果显示,小鼠对 TA 有较强的适应性。关于植食性哺乳动物对抗 TA 的代谢机制和适应对策还缺乏了解。在自然界中,几乎所有植物均含有次生化合物,然而,还没有任何一种次生代谢物能够完全阻止动物对植物的摄食,这表明动物对植物的防卫机制已

进化出了新的有效的应对机制,将这种植物化学防卫和动物适应对策结合起来探讨动、植物协同进化关系是营养生态学和进化生态学研究的主要方向,具有重要的理论和实践价值。

参考文献:

- [1] Rhoades DF, Cates B. A general theory of plant anti-herbivore chemistry [C]. In: Wallace J, Mansell RL. Bio-chemical interaction between plants and insects. recent advanced in phyto-chemistry, New York: Plenum, 1976: 168 - 213.
- [2] Swain T. Tannins and lignins [C]. In: Rosen GA, Janzen DH. Herbivores: their interaction with secondary plant metabolism, New York: Academic Press, 1979: 657 - 682.
- [3] Vander wall SB. The evolutionary ecology of nut dispersal [J]. Bot Rev, 2001, 67(1): 74 - 117.
- [4] Shimada T, Saitoh T. Re-evaluation of the relationship between rodent populations and acorn masting: a review from the aspect of nutrients and defensive chemicals in acorns [J]. Popul Ecol, 2006, 48(4): 341 - 352.
- [5] Smallwood PD, Peters WD. Grey squirrel food preferences: the effect of tannin and fat concentration [J]. Ecology, 1986, 67: 168 - 174.
- [6] Steele MA, Knowles T, Bridle K, et al. Tannins and partial consumption of acorns: implication for dispersal of oaks by seed predators [J]. Amer Mid Nat, 1993, 130: 229 - 238.
- [7] Smallwood PD, Steele MA, Faeth SH. The ultimate basis of the caching preferences of rodents, and the oak-dispersal syndrome: tannins, insects, and seed germination [J]. Amer Zool, 2001, 41(4): 840 - 851.
- [8] Foley JW, Jason GR, McArthur C. Role of plant secondary metabolites in the nutrition ecology of mammalian herbivores: how far have we come in 25 years [C]? In: Jung HG, Fahey GC. Nutritional ecology of herbivores. American Society of Animal Science, Savoy, 1999: 130 - 209.
- [9] Meyer BW, Karasov WH. Anti-herbivore chemistry of *Larrea tridentate*: effects on woodrat (*Neotoma lepida*) feeding and nutrition [J]. Ecology, 1989, 70(4): 953 - 962.
- [10] Lindroth RL, Batzli GO. Plant phenolics as chemical defenses effects of natural phenolics on survival and growth of prairie voles (*Microtus ochrogaster*) [J]. J Chem Ecol, 1984, 10(2): 229 - 244.
- [11] Brett AD, Hagerman AE, Barrett W. Role of condensed tannin on salivary tannin-binding proteins, bioenergetics and nitrogen digestibility in *Microtus pennsylvanicus* [J]. J Mamm, 1994, 75(4): 880 - 889.
- [12] 李俊年, 刘季科. 饥饿和食物单宁酸对东方田鼠食物摄入量 and 觅食行为的影响 [J]. 生态学报, 2007, 27(11): 4478 - 4484.
- [13] 李俊年, 刘季科. 单宁酸对根田鼠食物摄入量和蛋白质消化率的效应 [J]. 兽类学报, 2003, 23(1): 51 - 57.
- [14] 李俊年, 刘季科, 陶双伦. 单宁酸对根田鼠断乳幼体生长和存活的作用 [J]. 兽类学报, 2003, 23(1): 321 - 325.
- [15] 李俊年, 刘季科, 陶双伦. 根田鼠对食物单宁酸的代谢价 [J]. 生态学报, 2003, 23(9): 1816 - 1822.
- [16] Drozd A. Food habits and food assimilation in mammals [C]. In: Grodzinski W, Klekowski, RZ Duncan A. Methods for ecological bioenergetics. Oxford Blackwell, 1975: 333 - 337.
- [17] Robbins CT. Wildlife feeding and nutrition [M]. New York: Academic Press, 1983: 176 - 182.
- [18] Belovsky GE. Diet optimization in a generalist herbivore: the moose [J]. Theor Popul Biol, 1978, 14(1): 105 - 134.
- [19] McNaughton SJ. Adaptation of herbivore to seasonal changes in nutrient supply [C]. In: Hacker JB, Ternouth JH. The nutrition of herbivores. Sydney: Academic Press, 1987: 391 - 408.
- [20] Coley PD, Bryant JP, Chapin FS. Resource availability and plant anti-herbivore deaseae [J]. Science, 1985, 230: 895 - 899.
- [21] Rhoades DF. Offensive defensive interactions between herbivores and plants: their relevance in herbivore population dynamics and ecological theory [J]. Am Nat, 1985, 125(2): 205 - 238.
- [22] 黄慧敏, 王廷正. 棕色田鼠食性食量的研究 [J]. 陕西师范大学学报(自然科学版), 1999, 1(27): 88 - 92.
- [23] Cork SJ, Foley WJ. Digestive and metabolic strategies of arboreal mammalian folivores in relation to chemical defenses in temperate and tropical forests [C]. In: Palo RT, Robbins CT. Plant defenses against mammalian herbivory. Florida: Boca Raton, CRC Press, 1991: 133 - 166.
- [24] Lindroth RL, Batzli GO. Plant phenolics as chemical defenses effects of natural phenolics on survival and growth of prairie voles (*Microtus ochrogaster*) [J]. J Chem Ecol, 1984, 10(2): 229 - 244.

【修回日期】2009-04-08