

沸石在反刍动物生产上的应用研究进展

董淑慧^{1,2}, 周凌云¹, 孙 鹏¹, 张养东¹

(1. 中国农业科学院 北京畜牧兽医研究所 动物营养学国家重点实验室 北京 100193; 2. 甘肃农业大学 动物科学技术学院 甘肃 兰州 730070)

摘要: 综述了国外以斜发沸石及合成沸石(4A沸石)作为饲料添加剂对反刍动物生产性能、瘤胃发酵参数、血液生理生化指标的影响及在提高免疫力、减缓饲料霉菌毒性、疾病预防和改善生产环境等方面的应用。

关键词: 斜发沸石; 4A沸石; 反刍动物

中图分类号: S823 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7091(2011)增刊-0243-05

The Research Progress of the Application of Zeolite in the Production of Ruminants

DONG Shu-hui^{1,2}, ZHOU Ling-yun¹, SUN Peng¹, ZHANG Yang-dong¹

(1. State Key Laboratory of Animal Nutrition, Institute of Animal Science, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China; 2. Gansu Agricultural University, Animal Science and Technology, Lanzhou 730070, China)

Abstract: This article summarizes the influence of zeolite used as feed additives on performance, rumen fermentation parameters and physiological and biochemical indexes of blood in ruminants. Besides, the applications of zeolite in improving immune functions, slowing down toxicity of aflatoxin, protecting against diseases and improving production environment of ruminants are also referred.

Key words: Clinoptilolite; Zeolite A; Ruminants

沸石是一种含水的碱金属或碱土金属的铝硅酸盐矿物,畜牧养殖业和饲料工业中较常用的是斜发沸石和合成沸石(4A沸石)。斜发沸石是天然沸石矿物中的一种,也是最丰富的一种。它的晶体为透明板状,也可因含杂质而成褐色、红色。4A沸石主要成分为水合硅铝酸钠($\text{Na}_{12}\text{Al}_{12}\text{Si}_{12}\text{O}_{48} \cdot 27\text{H}_2\text{O}$),白色固体颗粒,无毒、无臭、无味且流动性较好,具有较强的钙离子交换能力,对环境无污染,不溶于水和有机溶剂,能溶解于强碱和强酸,加热超过800℃时,重新结晶形成白硅石状的结构,可吸附水分、液体、气体及不饱和的有机物质,被广泛用作吸附剂、离子交换剂和催化剂。沸石还具有“营养”价值,可以用作饲料添加剂,饲料中添加沸石能够促进动物生长、提高生产性能、降低饲料消耗,由于其价格低廉,还可降低饲料成本,增加经济效益;同时,饲料中添加沸石还具有防疫保健、改善生产环境等多

种功能。现对国外近10年对沸石作为饲料添加剂的研究进展作一综述。

1 对生产性能的影响

反刍动物日粮中添加适量的斜发沸石可以提高日增重、降低料肉比、提高产奶量并改善乳成分。日粮中添加3%(干物质基础)沸石的羔羊,其日增重显著高于添加1.5%沸石的羔羊及对照组羔羊($P < 0.05$)^[1]。肉牛日粮添加1.2%斜发沸石,使得日增重提高了3.4%,料肉比降低2.9%,但与对照组差异均不显著^[2]。Katsoulos等^[3]研究发现奶山羊日粮中添加2.5%斜发沸石可以显著提高三胎或四胎羔羊的出生重。

奶牛日粮中添加1.25%的斜发沸石后对产奶量没有影响,但添加量增加到2.5%时显著提高了产奶量($P < 0.05$)^[4]。Thilsing等^[5]发现在干奶期

收稿日期:2011-10-22

基金项目:现代农业产业技术体系建设专项资金资助(nycyt-04-01)

作者简介:董淑慧(1985-),女,河南濮阳人,硕士,主要从事反刍动物营养研究。

通讯作者:周凌云(1977-),女,北京人,助理研究员,主要从事反刍动物营养与牛奶质量改良研究。

最后两周到下一个干奶期持续每天摄入 600g 4A 沸石的牛其产奶量与对照组没有差异 ($P=0.11$)。日粮中添加 1.4% 斜发沸石,对乳脂肪浓度、牛奶中尿氮浓度没有影响,但有提高乳蛋白浓度的趋势^[6]。

关于饲料中添加沸石是否可以提高干物质采量和消化率,研究者得出了不同的结论。Ghaemnia 等^[7]研究得出羔羊日粮中加入 6% 沸石与添加 3%、9% 或不添加相比可以提高干物质采食量、提高粗蛋白和中性洗涤纤维(NDF)消化率($P<0.05$),但对酸性洗涤纤维(ADF)消化率没有影响,添加沸石会降低干物质消化率($P>0.05$)。与 Ghaemnia 等研究有所不同,Norouzian 等^[1]研究发现新生羔羊日粮添加 1.5% 或 3% 斜发沸石对干物质采食量和饲料转化率没有影响,Sherwood 等^[8],Cole 等^[9]分别在饲料中添加 1.2% 和 2.0% 斜发沸石,试验均得出添加沸石对育肥期阉牛的干物质采食量没有影响。另外 Cole 等还得出添加沸石对干物质消化率和粗蛋白消化率没有影响。

Katsoulos 等^[3,4]报道在干奶期奶牛和奶山羊日粮中添加 2.5% 斜发沸石可以显著提高其在分娩前后的能量状态,可能是因为添加沸石后增加了瘤胃中丙酸的产量或提高了前胃对淀粉的消化率所致。

2 对瘤胃发酵参数的影响

Eng 等^[10]报道说肥育牛日粮添加 1.2% 斜发沸石,提高了瘤胃 pH 值。类似的,Karatzia 等^[11]在泌乳奶牛日粮中添加 200 g 斜发沸石后显著提高了瘤胃 pH($P<0.05$),对总挥发性脂肪酸没有影响,但提高了乙酸($P<0.05$)、降低了丙酸和戊酸($P<0.05$)占总挥发性脂肪酸的比例,对丁酸和异脂肪酸没有影响。日粮中添加 1.4% 斜发沸石有提高瘤胃 pH($P=0.11$)和降低总 VFA($P=0.14$)的趋势,但是乙酸和丙酸占总挥发性脂肪酸的比例不受影响^[6]。但是,Bosi 等^[12]研究得出当斜发沸石添加量较少为 1.0% 时,对奶牛瘤胃 pH、氨氮浓度及总挥发性脂肪酸的组成和浓度均没有影响。

奶牛日粮中添加沸石可以提高 N 的利用率,因为沸石具有高阳离子交换率和高渗透率,因此可以有效吸收高浓度的氨^[8],在瘤胃氨浓度降低时可以缓慢释放^[12],使得瘤胃微生物捕获氨并用于合成微生物蛋白之后进入动物的消化系统^[13]。

添加不同种沸石后还对瘤胃中铝离子浓度产生不同的影响。Grabherr 等^[14]在日粮每 kg 干物质中添加 23 g 4A 沸石后显著提高了瘤胃中铝离子的浓度($P<0.05$)。但是 Karatzia 等^[11]在日粮中添加

200 g 天然斜发沸石后对瘤胃中铝离子的浓度没有影响。因为沸石在酸性条件下的稳定性依赖于结构中所含硅-铝比例,比例越高结构也就越稳定,斜发沸石中硅-铝比例为 5:1,而 4A 沸石的硅-铝比例为 1:1,因此斜发沸石在瘤胃偏酸性条件下的稳定性高于 4A 沸石^[15]。

3 对血液生理生化指标的影响

羔羊日粮中加入 6% 或 9% 的沸石可显著降低血清中尿素 N 浓度($P<0.05$),并有降低血清葡萄糖浓度的趋势($P>0.05$)^[7]。Katsoulos 等^[4,16,17]试验得出奶牛日粮中添加 1.25% 或 2.5% 的斜发沸石对血清葡萄糖、酮体、尿素 N、总蛋白、 β -胡萝卜素、维生素 A、E 及血液红细胞压积、血红蛋白、白细胞数等均不会产生不利影响。但是 Mohri 等^[18]在犊牛上的研究得出,犊牛所采食的牛奶中加入 2% 斜发沸石后可显著提高其血液的红细胞压积、红细胞数、血红蛋白、红细胞体积、单核细胞、白蛋白等($P<0.05$)。

Thilsing 等^[5]在奶牛日粮中添加 4A 沸石后其血清中铝离子的浓度显著高于($P<0.0001$)未添加组,表明 4A 沸石在进入肠道以后局部受到破坏之后释放出铝离子,进而吸收入血。但是 Karatzia 等^[11]在日粮中添加 200 g 斜发沸石后对血液中铝离子的浓度没有影响,同样是因为天然斜发沸石在胃肠道内的结构稳定性超过 4A 沸石所致。

干奶期末妊娠奶牛以青草青贮为基础日粮时,每日每头牛添加 1 kg 4A 沸石,连续添加一周,添加 4A 沸石前一周,血清中钙略微降低,停止添加后,血清中的钙增多,可能是因为日粮中添加 4A 沸石后激活了钙的动员;且在添加 4A 沸石期间血清中磷酸盐浓度和镁的内稳态会显著低于对照组^[19]。类似的,Thilsing-Hansen 等^[20]给干奶期妊娠奶牛每头牛每日添加 4A 沸石 0.5~1 kg 同样显著降低了血清中磷酸盐浓度。Grabherr 等^[14]研究得出血清中磷酸盐浓度与奶牛摄入 4A 沸石的量在预产期前 7 d ($r=0.86$)及分娩当天($r=0.62$)显著负相关($P<0.0001$)。但是 Karatzia 等^[11]在泌乳奶牛日粮中添加 200 g 斜发沸石后对血清中磷酸盐浓度没有影响。

4 提高免疫力

有研究指出沸石还具有提高反刍动物免疫力的功效。Fratri 等^[21]研究得出:在出生后 2 d 内每天采食 2 次初乳,每次采食 0.75 L(含斜发沸石 5

g/L) 的新生犊牛与每次仅采食 1.5 L(不含沸石) 初乳的新生犊牛相比两者血清中 IgG 浓度相当,也就是说初乳中添加 5 g/L 斜发沸石可以显著提高新生犊牛对初乳中 IgG 的吸收能力,其原因可能是沸石可以在体内增大被动免疫,提高了对初乳中免疫球蛋白的净吸收量。Karatzia 等^[11] 研究得出妊娠后期奶牛每天随日粮摄入 200 g 斜发沸石,并在妊娠第 210 和 240 d 注射埃希氏杆菌疫苗,结果表明添加沸石后显著提高了初乳中抗体滴度($P < 0.05$),即提高了母牛对注射埃希氏杆菌疫苗的免疫应答,并提高了其所产犊牛的抵抗能力。奶牛的免疫应答与其能量状态显著相关,那么摄入沸石可以提高免疫应答的原因可能是沸石提高了妊娠奶牛的能量状态^[22]。

5 减缓日粮中黄曲霉毒性

黄曲霉毒素 B₁ 是由黄曲霉和寄生曲霉产生,是目前已知最强的肝毒素,有致癌、致畸型和致突变作用。黄曲霉毒素分子大小在 5.18A(B₁ - B₂) 到 6.50A(G₁ - G₂) 之间,只有沸石的分子通道足够大可以允许黄曲霉毒素进入晶体结构内部,将其吸附,进而起到保护作用。Spotti 等^[23] 在含有黄曲霉毒素的饲料中添加斜发沸石并在新鲜过滤瘤胃液中孵育,体外试验得出斜发沸石对黄曲霉毒素的吸附率为 80%,硅铝酸钠钙对黄曲霉毒素的吸附率为 100%。但是 Lemke 等^[24] 在进行了多次体外吸收试验得出斜发沸石对黄曲霉毒素 B₁ 的吸收能力是有限的。

6 减缓腹泻症状

Valizadeh 等^[25] 研究表明,羔羊开食料中添加 3% 斜发沸石可以减少腹泻的发生率和严重程度。日粮中添加沸石可以减少腹泻发生率的原因可能是沸石吸收了①胆汁—引起腹泻的内生因素,②黄曲霉毒素 B₁—可以产生严重毒性的霉菌毒素,③大肠杆菌、痢疾杆菌等。Šamanc H 等^[26] 研究得出初乳中添加 5 g/L 或 10 g/L 的沸石,饲喂新生犊牛后其健康状况良好,但对照组未添加沸石的 10 头犊牛中有 3 头出现了腹泻,其原因可能是沸石可以在体内增大被动免疫,提高了对初乳中免疫球蛋白的净吸收量,增强了对腹泻的抵抗力。

7 预防产乳热

目前,已有很多试验用于研究饲料中添加硅铝酸钠预防奶牛产乳热的作用机理,这些试验基于已

经证明的减少产乳热发生率的方法是在干奶期采食低钙日粮^[27],且每天钙的摄入量应低于 20 g^[28],目的在于通过硅铝酸钠来降低饲料中的钙在奶牛胃肠道的生物利用度。但是高产奶牛普遍使用的饲料如牧草或玉米青贮等钙的含量很高,分别为 6.5 和 4 g/kg^[29],因此在此阶段难以实现采食低钙日粮,而不论是通过口头灌注或是混合在饲料中的硅铝酸钠均在干奶期降低了饲料中钙的生物利用度,并通过刺激奶牛在分娩前启动钙自我平衡调节机制来有效地预防了产乳热的发生^[30-32]。此外,每头牛每天摄入的沸石和钙的比值低于 5 时不能预防产乳热,而比值在 10~20 则可有效预防产乳热,且不论是在干奶期最后 2 周或最后 4 周添加沸石,其预防效率相当^[20]。

Katsoulos 等^[33] 研究表明斜发沸石可以有效预防产乳热,在干奶期最后一个月到泌乳开始期间奶牛每天摄入 2.5% 的斜发沸石,其产乳热发病率(5.9%) 显著低于未添加沸石组(38.9%),但是采食日粮含 1.25% 沸石的牛其发病率(17.6%) 与对照组间没有显著差异。类似的,在分娩前 4 周每天给试验组干奶期奶牛饲喂 1 kg 4A 沸石^[30],或在预产期前两周每天让每头牛采食 500 g 4A 沸石,同样有效的预防了产乳热的发生^[34]。

8 预防酮病

Katsoulos 等^[4] 试验得出奶牛日粮中添加 2.5% 的沸石,会降低产犊后一月内临床酮病的发生率($P < 0.05$)。泌乳奶牛预防酮病的最好方法是在干奶期和泌乳初期提高能量摄入量^[35],日粮中添加沸石减少酮病发生的原因可能是提高了牛产前瘤胃中丙酸的产量或是提高了前胃对淀粉的消化能力,提高了奶牛在分娩前后的能量状态。

9 改善生产环境

沸石特殊的晶体结构在胃肠道内具有吸附作用和离子交换作用,在动物消化道内选择性地吸附 NH₃、H₂S、CO₂ 等气体,减少向大气中的排放。肠道内高浓度的氨能加速肠道上皮细胞的死亡,沸石能吸附氨,从而延长了上皮细胞的生活周期,因此有更多的能量用于生长。但是 Sherwood 等^[8] 研究得出牛的日粮中添加 1.2% 斜发沸石后并未减少挥发 N(NH₃) 的量,可能是因为所使用的沸石品质、粒度不同也能是在测 N 损失时所用的方法不同造成的。

牛所摄入的 N 素约有 80%~90% 会随粪尿排出^[9],排出的 N 素有 25%~60% 将会从粪污表面以

氨的形式挥发,进而影响空气质量^[36]。随着奶牛场规模的不断扩大且可用于处理粪污的田地不断缩减,因此急需寻求一种费用低廉的处理奶牛场粪污的方法。沸石作为离子交换媒介,将其中的 Na^+ 和 Ca^{2+} 与粪污中的 NH_4^+ 发生交换,吸收铵,并减少溶解的氨气。奶牛场粪污中分别添加 2.5% 或 6.25% 斜发沸石可减少 22% 或 47% 氨的排放,还可减少超过 50% 的可溶磷^[37]。He 等^[38]研究得出粪污中添加纤维素和沸石相对于单独添加沸石或纤维素可显著减少挥发氨的量,可能是因为逐渐增多的微生物摄取和利用了氨。

10 结语

日粮中沸石对反刍动物生产性能、瘤胃发酵、血液生理生化指标产生影响的原因及减缓霉菌毒性、疾病预防等起保护作用的机制目前尚未完全清楚,有待更多的研究者做进一步研究,且研究重点应集中在添加沸石后对机体必需营养物质如维生素和微量元素利用的长期效应,及确定处于不同时期动物适宜的添加量。

参考文献:

- [1] Norouzian M A, Valizadeh R, Khadem A A, *et al.* The effects of feeding clinoptilolite on hematology, performance and health of newborn lambs [J]. *Biological Trace Element Research* 2010; 1-9.
- [2] Sherwood D M, Erickson G E, Klopfenstein T J. Effect of clinoptilolite zeolite on cattle performance and nitrogen volatilization loss [J]. *Nebraska Beef Cattle Reports*, 2005: 177.
- [3] Katsoulos P D, Zarogiannis S, Roubies N, *et al.* Effect of long-term dietary supplementation with clinoptilolite on performance and selected serum biochemical values in dairy goats [J]. *Am J Vet Res* 2009, 70(3): 346-352.
- [4] Katsoulos P D, Panousis N, Roubies N, *et al.* Effects of long-term feeding of a diet supplemented with clinoptilolite to dairy cows on the incidence of ketosis, milk yield and liver function [J]. *Vet Rec* 2006, 159: 415.
- [5] Thilsing T, Larsen T, Jrgensen R J, *et al.* The effect of dietary calcium and phosphorus supplementation in zeolite A treated dry cows on periparturient calcium and phosphorus homeostasis [J]. *J Vet Med Ser* 2007, 54(2): 82-91.
- [6] Dschaak C M, Eun J S, Young A J, *et al.* Effects of supplementation of natural zeolite on intake, digestion, ruminal fermentation and lactational performance of dairy cows [J]. *The Professional Animal Scientist*, 2010, 26(6): 647.
- [7] Ghaemnia L, Bojarpour M, Mirzadeh K, *et al.* Effect of different levels of zeolite on digestibility and some blood parameters in Arabic lambs [J]. *J Anim Vet Adv*, 2010, 9(4): 779-781.
- [8] Sherwood D M, Erickson G E, Klopfenstein T J, *et al.* Nitrogen mass balance and cattle performance of steers fed clinoptilolite zeolite clay. *Nebraska Beef Report*, Univ. Nebraska, Lincoln 2006, 90.
- [9] Cole N A, Todd R W, Parker D B. Use of fat and zeolite to reduce ammonia emissions from beef cattle feedyards [J]. *Int Symp Air Quality Waste Mgt Agric* 2007, 9: 16-19.
- [10] Eng K S, Bechtel R, Hutcheson D. The use of biolite (a calcium clinoptilolite zeolite) in diets for natural beef production [M]//Bowman R S, Delap S E. *Zeolite 06*. New Mexico Inst. of Mining and Technology, Socorro, NM, 2006: 29.
- [11] Karatzia M A. Effect of dietary inclusion of clinoptilolite on antibody production by dairy cows vaccinated against *Escherichia coli* [J]. *Livest Sci* 2010, 128(1-3): 149-153.
- [12] Bosi P, Creston D, Casini L. Production performance of dairy cows after the dietary addition of clinoptilolite [J]. *Ita J Anim Sci* 2002, 1(3): 187-195.
- [13] Mumpton F A. *Laroca magica*: Uses of natural zeolites in agriculture and industry [J]. *PNAS* 1999, 96(7): 3463.
- [14] Grabherr H, Spolders M, Furl M, *et al.* The effect of several doses of zeolite A on feed intake, energy metabolism and on mineral metabolism in dairy cows around calving [J]. *J Anim Physiol Anim Nutr* 2009, 93(2): 221-236.
- [15] Papaioannou D, Katsoulos P D, Panousis N, *et al.* The role of natural and synthetic zeolites as feed additives on the prevention and/or the treatment of certain farm animal diseases: A review [J]. *Microporous and mesoporous materials* 2005, 84(1-3): 161-170.
- [16] Katsoulos P D, Roubies N, Panousis N, *et al.* Effects of long-term feeding dairy cows on a diet supplemented with clinoptilolite on certain haematological parameters [J]. *J Vet Med* 2005b, 10: 427-431.
- [17] Katsoulos P D, Panousis N, Panousis N, *et al.* Roubies Effects on blood concentrations of certain serum fat-soluble vitamins of long-term feeding of dairy cows on a diet supplemented with clinoptilolite [J]. *J Vet Med* 2005a, 52, 157-161.
- [18] Mohri M, Seifi H A, Daraei F. Effects of short-term supplementation of clinoptilolite in colostrum and milk on hematology, serum proteins, performance, and health in neonatal dairy calves [J]. *Food Chem Toxicol* 2008, 46: 2112-2117.
- [19] Enemark J M, Frandsen A M, Thilsing-Hansen T, *et al.*

- Aspects of physiological effects of sodium zeolite A supplementation in dry ,non-pregnant dairy cows fed grass silage [J]. *Acta Vet Scand ,Supplementum*. 2003 ,97: 97.
- [20] Thilsing-Hansen T ,Jrgensen R J ,Enemark J M D *et al.* The effect of zeolite A supplementation in the dry period on blood mineral status around calving [J]. *Acta Vet Scand Supplementum* 2003 (97) : 87 – 95.
- [21] Fratri N ,Stoji V ,Jankovi D *et al.* The effect of a clinoptilolite based mineral adsorber on concentrations of immunoglobulin G in the serum of newborn calves fed different amounts of colostrum [J]. *Acta Vet* 2005 55(1) : 11 – 21.
- [22] Van Knegsel A T M ,de Vries Reilingh G ,Meulenberg S *et al.* Natural antibodies related to energy balance in early lactation dairy cows [J]. *J Dairy Sci* ,2007 ,90 (12) : 5490 – 5498.
- [23] Spotti M ,Fracchiolla M L ,Arioli F *et al.* Aflatoxin B1 binding to sorbents in bovine ruminal fluid [J]. *Vet Res Commun* 2005 29(6) : 507 – 515.
- [24] Lemke S L ,Ottinger S E ,Mayura K *et al.* Development of a multi-tiered approach to the in vitro prescreening of clay-based enterosorbents [J]. *Anim Feed Sci Tch* , 2001 93(1 – 2) : 17 – 29.
- [25] Valizadeh R ,Nabipour A. The effects of feeding clinoptilolite on hematology performance and health of newborn lambs [J]. *Biol Trace Elem Res* 2010 ,137: 168 – 176.
- [26] Šamanc H ,Danijela Kirovski M. Adamović *et al.* Effects of natural zeolite on body weight ,weight gain ,haematology and biochemical blood parameters in calves [J]. *Acta Vet* 2010 45: 2 – 3.
- [27] Kichura T S ,Horst R L ,Beitz D C *et al.* Relationships between prepartal dietary calcium and phosphorus ,vitamin D metabolism ,and parturient paresis in dairy cows [J]. *J Nutr* ,1982 ,112(3) : 480.
- [28] Houe H ,stergaard S ,Thilsing-Hansen T *et al.* Milk fever and subclinical hypocalcaemia an evaluation of parameters on incidence risk ,diagnosis ,risk factors and biological effects as input for a decision support system for disease control [J]. *Acta Vet Scand* 2001 42(1) : 1.
- [29] Beyer M ,Jentsch W ,Chudy A *et al.* Rostock feed evaluation system: reference numbers of feed value and requirement on the base of net energy. Plexus-Verlag , 2003.
- [30] Thilsing-Hansen T ,Jrgensen R J. Hot topic: prevention of parturient paresis and subclinical hypocalcemia in dairy cows by zeolite A administration in the dry period [J]. *J Dairy Sci* 2001 84(3) : 691 – 693.
- [31] Thilsing-Hansen T ,Jrgensen R J ,Enemark J M D *et al.* The effect of zeolite A supplementation in the dry period on periparturient calcium ,phosphorus ,and magnesium homeostasis [J]. *J Dairy Sci* 2002 85(7) : 1855 – 1862.
- [32] Jrgensen R J ,Hansen T ,Jensen M L *et al.* Effect of oral drenching with zinc oxide or synthetic zeolite A on total blood calcium in dairy cows [J]. *J Dairy Sci* ,2001 ,84 (3) : 609 – 613.
- [33] Katsoulos P D ,Roubies N ,Panousis N *et al.* Effects of long-term dietary supplementation with clinoptilolite on incidence of parturient paresis and serum concentrations of total calcium ,phosphate ,magnesium ,potassium ,and sodium in dairy cows [J]. *Am J Vet Res* ,2005c ,66 (12) : 2081 – 2085.
- [34] Pallesen A ,Pallesen F ,Jrgensen R J *et al.* Effect of pre-calving zeolite ,magnesium and phosphorus supplementation on periparturient serum mineral concentrations [J]. *Vet J* 2008(175) : 234 – 239.
- [35] Horst R L ,Goff J P ,Reinhardt T A *et al.* Strategies for preventing milk fever in dairy cattle [J]. *J Dairy Sci* , 1997 80(7) : 1269 – 1280.
- [36] Cole N A ,Todd R W ,Harper L A *et al.* Ammonia and gaseous nitrogen emissions from a commercial beef cattle feedyard estimated using the flux-gradient method and N: P ratio analysis [J]. 2005.
- [37] Lefcourt A M ,Meisinger J J. Effect of adding alum or zeolite to dairy slurry on ammonia volatilization and chemical composition [J]. *J Dairy Sci* ,2001 ,84(8) : 1814 – 1821.
- [38] He Z L ,Calvert D V ,Alva A K *et al.* Clinoptilolite zeolite and cellulose amendments to reduce ammonia volatilization in a calcareous sandy soil [J]. *Plant and Soil*. 247: 253 – 260.