

瘤胃保护胆碱和丙二醇对围产期高产奶牛产奶量和健康状况的影响

和立文 孟庆翔 任丽萍*

(中国农业大学 动物科学技术学院/动物营养学国家重点实验室,北京 100193)

摘要 为探究瘤胃保护胆碱(Rumen-protected choline, RPC)和丙二醇(Propyleneglycol, PG)对围产期高产奶牛产奶量和健康状况的影响,选取 44 头健康的荷斯坦高产奶牛,按胎次、预产期、上一胎次产奶量等基本一致原则分为试验组和对照组,每组 22 头,饲喂相同基础日粮,所有牛从产前 7 d~产后 7 d 每天晨饲时灌服 500 mL/头的 PG,且试验组牛群从产前 14 d~产后 28 d 每天晨饲时灌服 20 g/头的 RPC,试验期为产前 14 d~产后 28 d。结果显示:1)RPC 和 PG 配合使用对围产期高产奶牛 DHI 校正奶量无显著影响($P>0.05$);2)RPC 和 PG 配合使用对牛奶中体细胞数有一定的积极影响,减少了 17.98%,但组间差异不显著($P>0.05$);3)RPC 和 PG 配合使用对奶牛的疾病状况无影响,两组牛群间酮病、乳房炎、真胃移位、肠炎等疾病均无显著差异($P>0.05$);4)RPC 和 PG 配合使用对血浆中甘油三脂(TG)和 β -羟丁酸(BHBA)含量在产犊当天、产后 7 d 和产后 14 d 这 3 个时间点的影响组间差异均不显著($P>0.05$)。在本研究条件下,与单独补充 PG 相比,RPC 和 PG 配合使用对围产期高产奶牛的产奶量和健康状况均无明显的改善作用,因而从经济效益考虑不建议配合使用。

关键词 奶牛;瘤胃保护胆碱;丙二醇;围产期;产奶量;健康状况

中图分类号 S 816.75

文章编号 1007-4333(2014)03-0162-07

文献标志码 A

Effects of rumen-protected choline and propyleneglycol on milk yield and health status for high productive dairy cows in periparturient

HE Li-wen, MENG Qing-xiang, REN Li-ping*

(College of Animal Science and Technology/State Key Laboratory of Animal Nutrition, China Agricultural University, Beijing 100193, China)

Abstract This experiment was conducted to study the effect of rumen-protected choline (RPC) and propyleneglycol (PG) on milk yield and health status for high productive dairy cows in periparturient. Forty-four healthy Holstein cows with similar parity, expected calving date and milk yield were blocked into 22 pairs and then randomly allocated to either one of 2 treatments. Both groups received the same basal diet. All cows were daily drenched with 500 mL of PG from 7 days before the expected calving date till 7 days after calving. Meanwhile, the treatment group were also drenched with 20 g/head of RPC from 14 days before the expected calving date till 28 days after calving. The results showed that supplementing high productive dairy cows in periparturient with RPC and PG had no significant effect on DHI corrected milk yield ($P>0.05$), while there was some active effect on the somatic cell counts (SCC) by 17.98% decrease without a significant difference ($P>0.05$), furthermore, there was no effect on disease status with no difference on the incidence of ketosis, mastitis, abomasum displacement and enteritis, etc. ($P>0.05$) and there was no significant difference ($P>0.05$) on the content of both plasma triglyceride (TG) and β -hydroxybutyric acid (BHBA) between treatments on the time-point of calving, day 7 postcalving and day 14 postcalving. These results indicate that under the condition of this experiment, compared to supplementing PG alone, RPC and PG supplementation for high productive dairy cows in periparturient has little obviously improving effect on milk yield and health status, thus, considering the economic benefit, it doesn't suggest to have RPC and PG supplementation simultaneously.

Key words cows; rumen-protected choline; propyleneglycol; periparturient; milk performance; health status

收稿日期: 2013-08-12

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项资金资助(2013QJ071, 2013QT034)

第一作者: 和立文, 硕士研究生, E-mail: helw082@163.com

通讯作者: 任丽萍, 教授, 博士生导师, 主要从事动物营养与饲料科学研究, E-mail: renlp@cau.edu.cn

围产期的高产奶牛因采食量下降而能量需求增加的特殊生理特点,常导致机体在泌乳初期处于能量负平衡状态,体脂动员产生的大量游离脂肪酸在肝脏中积聚,造成不同程度的脂肪肝浸润,损害奶牛机体健康,进而影响其生产性能和繁殖性能^[1]。Jorritsma 等^[2]报道脂肪肝是影响 50% 以上高产牛的一种产期代谢病,影响奶牛的健康、生产性能和繁殖性能。由此可见,适当采取一定措施缓解能量负平衡减少脂肪肝的发生对围产期高产奶牛的生产管理具有重要的意义,其中胆碱和丙二醇是两种常见的药物添加剂。

胆碱是重要的极低密度脂蛋白(VLDL)的组成成分和肉毒碱的甲基供体,补充胆碱可以提高肝脏氧化和输出脂肪的能力,减少脂肪在肝脏中沉积^[3]。反刍动物由于瘤胃微生物的降解作用,直接添加胆碱的生物效价很低,因而需要补充瘤胃保护胆碱(Rumen-protected choline, RPC)^[4],使其能够安全过瘤胃在后肠被吸收利用。有研究表明,日粮中添加瘤胃保护胆碱显著降低围产期奶牛临床、亚临床酮症和酮尿症的发生,使乳房炎和产后疾病的发病率降低,但对胎衣不下、子宫炎和真胃变位无影响^[5]。

丙二醇(Propyleneglycol, PG)作为生糖先质,进入瘤胃后,一部分直接迅速被瘤胃壁吸收,另一部分经微生物代谢为丙酸盐后被吸收,丙二醇和丙酸盐经血液循环到达肝脏通过生糖作用的形式为机体供能,缓解能量负平衡。早在 19 世纪 50 年代,丙二醇已被用来治疗奶牛酮病。

近年来,反刍动物营养学家们对围产期高产奶牛补充胆碱、丙二醇进行了大量的研究并取得了一定的成果^[6-10],但可能是由于牛群状况、添加剂量等试验条件的差异,有关补充 RPC 和 PG 对奶牛产奶性能和血液生化指标及健康状况影响的报道各不相

同^[6-10],而且绝大部分试验都是研究单独补充 RPC 或 PG 的效果,有关 RPC 和 PG 配合使用鲜有报道。因此,本研究通过探究瘤胃保护胆碱和丙二醇配合使用对围产期高产奶牛产奶量 and 健康状况的影响,旨在为围产期高产奶牛健康护理及瘤胃保护胆碱和丙二醇在其生产中应用提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料

瘤胃保护胆碱(斯多利(STA-CHOL[®])),由意大利亚士可化工大药厂生产,采用多层包被技术,进行微胶囊粒,安全过瘤胃(大于 80%),肠道控释,胆碱有效含量为 50%,生产推荐使用量 20~50 g/(d·头),主要在奶牛围产期使用,对产后 100 d 内的产奶量有明显的提升作用。丙二醇(Propyleneglycol, PG)为美国陶氏(Dow)化学公司生产的医药级添加剂,纯度为 99.8%,比重 1.036 1,总能 23.7 MJ/kg^[11],泌乳净能为 16.73 MJ/kg^[12]。

1.2 方法

1.2.1 试验设计

选取健康的荷斯坦高产奶牛 44 头(上一胎次日均产奶量在 25 kg 以上,预产期相近),按胎次、预产期、上一胎次产奶量等基本一致(表 1)的原则随机均分为试验组和对照组,每组 22 头,试验期为产前 14 d~产后 28 d。所有牛从产前 7 d~产后 7 d 每天晨饲时灌服 500 mL/头的丙二醇(PG),且试验组牛群从产前 14 d~产后 28 d 内每天晨饲时灌服 20 g/头的瘤胃保护胆碱(RPC)。供试牛群按照奶牛场现行制度进行饲喂和挤奶生产,试验于 2012 年 2—4 月在北京绿荷牛业有限责任公司金星牛场进行。试验用基础日粮组成及营养水平见表 2 和表 3。

表 1 试验动物及分组情况
Table 1 Grouping of test animals

项目 Item	平均胎次/胎 Parity	上一胎次平均产奶量/kg Last milk yield
试验组 Treatment	1.86±1.21	10 758.3±3 336.2
对照组 Control	1.82±1.10	10 442.2±2 498.8

表2 基础日粮组成(饲喂基础)

Table 2 Ingredients of basal diet (feeding basis)

w/%

饲料组成 Feed composition	产前料 Antepartum diet	产后料 Postpartum diet
青贮 Silage	41.10	36.00
东北草 Dong bei grass	21.00	1.40
苜蓿 Alfafa	8.20	12.00
玉米 Corn	0.30	13.00
干后小料 Smalls	4.20	—
豆粕 Soybean meal	2.10	2.90
大豆皮 Soybean hull	—	2.00
棉籽 Cottonseed	2.10	5.70
美加力 Magni	0.20	0.40
玉米酒精糟及可溶物 DDGS	1.70	3.30
胚芽饼 Germ cake	2.10	—
苹果粕 Apple pulp	—	1.20
膨化大豆 Extruded soybean	—	1.40
次粉 Wheat middling	1.70	3.60
双低菜粕 Rapeseed meal	2.60	2.60
棉粕 Cottonseed meal	1.30	1.10
麸皮 Bran	1.50	1.10
泌乳牛料 Lactating diet	—	1.70
水 Water	9.90	10.60
合计 Total	100.00	100.00

注：“—”表示饲料中未添加该种原料。

Note: sign “—” means the feed stuffs not being included in the feed.

表3 日粮营养水平(干物质基础)

Table 3 Nutrient compositions of basal diet (dry matter basic)

项目 Item	产前料 Antepartum diet	产后料 Postpartum diet
产奶净能/(MJ/kg) NE	6.44	7.66
w(粗蛋白质)/% CP	17.76	18.23
w(粗脂肪)/% EE	4.53	6.27
w(粗纤维)/% CF	45.84	36.82
w(钙)/% Ca	0.92	2.25
w(磷)/% P	0.51	0.55

1.2.2 测定项目及方法

1)产奶量测定。产犊后所有牛参加奶牛群体改良(Dairy herd improvement DHI,又称“奶牛生产性能测定体系”)(早中晚的奶样比例为4:3:3,加5%重铬酸钾0.5 mL)测定,试验期内进行2次DHI测定,监测试验牛群的DHI校正奶量。

2)疾病状况记录。监测DHI测定中牛奶体细胞数和线性体细胞计数,并观察试验期间试验牛群的疾病状况,逐一记录乳房炎、酮病、真胃移位和肠炎等疾病的发病情况。

3)血液生化指标测定。分别在产犊当天、产后7 d和产后14 d尾静脉采血,用肝素钠抗凝,每次采血约10 mL,以3 500 r/min离心10 min,取上

清液分成2管,-20℃冷冻保存,用日本日立7160全自动生化仪测定甘油三脂(TG)、β-羟丁酸(BHBA)。

1.3 统计分析

数据以(平均数±标准差)表示,Excel初步整理,用SAS 8.0软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 RPC及PG配合使用对奶牛产奶量的影响

由表4可知,RPC和PG配合使用对校正奶量没有影响,2次DHI测定牛群的校正奶量组间均无显著差异($P>0.05$),试验组校正奶量为21.96 kg,对照组的是22.15 kg。

表4 补充RPC和PG对产奶量的影响

Table 4 Effect of supplementing RPC and PG on milk yield

kg

项目 Item	校正奶量(HTACM)		
	第1次DHI First DHI	第2次DHI Second DHI	均值 Average
试验组 Treatment	20.79±6.60	23.13±8.71	21.96±7.70
对照组 Control	20.58±5.54	23.71±7.90	22.15±6.91

注:每头牛补充20 g/d RPC和500 mL/d PG。下表同。

Note: supplementing 20 g/d RPC and 500 mL/d PG per cow. The same as follows.

2.2 RPC及PG配合使用对奶中体细胞数的影响

RPC和PG配合使用对牛奶中体细胞数有一定的积极影响(表5),DHI测定试验组的体细胞数均明显低于对照组,对照组平均体细胞数是128.01万个/

mL,试验组为105.00万个/mL,减少了17.98%,但组间差异不显著($P>0.05$);2组牛的线性体细胞计数均呈下降趋势,试验组线性体细胞计数为2.44,对照组的为2.71,组间差异也不显著($P>0.05$)。

表5 补充RPC和PG对奶中体细胞数的影响

Table 5 Effect of supplementing RPC and PG on SCC in milk

项目 Item	体细胞数/(万个/mL)SCC			线性体细胞计数LSCC		
	第一次DHI First DHI	第二次DHI Second DHI	均值 Average	第一次DHI First DHI	第二次DHI Second DHI	均值 Average
试验组 Treatment	107.21±93.35	103.00±140.43	105.00±113.81	2.82±1.67	2.06±1.64	2.44±1.67
对照组 Control	123.14±154.11	132.88±208.62	128.01±184.78	3.24±2.39	2.18±1.88	2.71±2.18

2.3 RPC及PG配合使用对疾病状况的影响

由表6可知,RPC和PG配合使用对奶牛的疾

病状况无影响,2组牛群间酮病、乳房炎、真胃移位、肠炎等疾病均无显著差异($P>0.05$)。

表6 补充RPC和PG对疾病状况的影响

Table 6 Effect of supplementing RPC and PG on disease status

头次

项目 Item	酮病 Ketosis	乳房炎 Mastitis	真胃移位 Abomasum displacement	肠炎 Enteritis	其他疾病 Others
试验组 Treatment	2	4	1	4	3
对照组 Control	3	6	2	3	1

2.4 RPC及PG配合使用对血液生化指标的影响

产犊后血浆中甘油三酯呈下降趋势(表7),而 β -羟丁酸则是呈上升趋势,虽然RPC和PG配合使用对血浆中TG和BHBA含量在产犊当天、产后

7 d和产后14 d这3个时间点的影响组间差异均不显著($P > 0.05$),但是在数值上试验组TG和BHBA含量在产犊当天略高于对照组,而在产后7 d和产后14 d时均明显低于对照组。

表7 补充RPC和PG对血液生化指标的影响

Table 7 Effect of supplementing RPC and PG on blood parameters

mmol/L

项目 Item	甘油三酯 TG			β -羟丁酸 BHBA		
	产犊当天 Calving date	产后7 d 7 days after calving	产后14 d 14 days after calving	产犊当天 Calving date	产后7 d 7 days after calving	产后14 d 14 days after calving
试验组 Treatment	0.85 \pm 0.07	0.76 \pm 0.03	0.74 \pm 0.05	0.56 \pm 0.14	0.75 \pm 0.31	0.77 \pm 0.22
对照组 Control	0.85 \pm 0.04	0.77 \pm 0.04	0.80 \pm 0.18	0.53 \pm 0.23	0.93 \pm 0.35	0.84 \pm 0.36

3 讨论

3.1 RPC、PG对奶牛生产性能的影响

DHI测定中校正奶量是由计算机将实际奶产量校正到产奶时间为150 d,乳脂率为3.5%所得的数据,有效消除了牛群年龄、胎次和遗传状况等差异的影响,便于不同牛只、牛群间生产水平的比较。郑家三等^[9]给试验组奶牛添加5、10和20 g RPC,结果显示,添加RPC显著提高了泌乳量;丁文静^[13]给泌乳早期奶牛添加0、30、60及90 g RPC,结果表明,补饲RPC对奶牛的产奶量无显著影响;Zom等^[8]从产前3周到产后6周给试验组牛群添加60 g RPC,结果添加RPC对产奶量没有影响。Moallem等^[7]研究报道补充丙二醇奶牛产奶量显著增加;刘强等^[14]研究表明日粮添加丙二醇对泌乳早期奶牛产奶量无显著影响;Chung等^[6]在泌乳41 d左右奶牛的日粮中添加250 g/d丙二醇和50 g/d包被氯化胆碱,结果显示,补充RPC和PG不影响产奶量。

本研究中补充RPC和PG的试验组牛群在产奶量上并未表现出优于只补充PG的对照组牛群,表明RPC和PG配合使用并没有呈现出预期的协同效应。可能由于补充RPC和PG后血浆中游离脂肪酸下降导致乳腺吸收的游离脂肪酸减少及瘤胃发酵乙酸比例降低,减少了乳腺中短链脂肪酸的合成,导致乳脂率下降;也可能是因为添加量少和添加时间短未达到增加奶产量的程度,或是因为补充PG的对照组生产水平已经达到了这一生理阶段的极限,再补充RPC已无添加效果。

3.2 RPC、PG对奶牛健康状况的影响

牛奶中的体细胞数(Somatic cell count, SCC)是指每毫升牛奶中体细胞的含量,通常由巨噬细胞、淋巴细胞和多形核嗜中性白细胞及少量的乳腺组织上皮细胞组成。牛奶体细胞数与产奶量成反比关系,高体细胞数对乳成分、原料奶质量及乳制品风味都有一定的影响,正常情况下牛乳SCC在20~40万个/mL。线性体细胞计数即体细胞评分,由计算

机通过体细胞数产生的数据,用于确定奶量的损失。体细胞数和体细胞评分已经成为奶牛场衡量奶牛乳房健康状况、产奶能力、奶品质及保健状况的一项重要参考指标。奶牛一旦患有乳房炎,奶产量及质量都会有相应的变化。牛只体细胞分值越高,奶质越差,1~3分为好,4分以上说明乳房保健存在问题;但体细胞数的高低只反映乳房受感染的程度,而非超过某一特定值就表示该牛一定患了乳房炎而需治疗。本研究中补充RPC和PG的试验组牛群体细胞数明显低于对照组,减少了17.98%,表明RPC和PG配合使用对牛奶中体细胞数还是有一定的积极作用,但两组牛的体细胞数平均值都超过100万个/mL且体细胞数的标准差都很大,说明个体间的差异很大,而体细胞评分却都低于3分,可能是因为少数亚健康的牛导致整体体细胞数大幅度升高,体细胞评分正常说明牛群乳房保健状况整体良好。

Lima等^[15]给369头奶牛从产前25d~产后80d饲喂15g/dRPC,结果显示,饲喂RPC减少了临床酮病、乳房炎、死亡率及乳房炎发病头次的发病率;研究表明丙二醇可以减轻因采食量所致能量负平衡以及缓减奶牛酮病与脂肪肝综合征,Miyoshi等^[11]给产后第7~42天经产奶牛每天灌注丙二醇528g,结果试验组的奶牛能量平衡比对照组的高。本研究中补充RPC和PG的试验组牛群疾病状况与补充PG的对照组相比并没有改善;由于试验牛群群体数量太小,统计代表性不足,还需要进一步验证。BHBA是酮体中含量最多的成分,约占总量的70%,很大程度上反映了机体酮体水平的高低,Whitaker等^[16]认为用游离脂肪酸和BHBA可以反映奶牛能量平衡状态,游离脂肪酸浓度可以用来反映奶牛脂肪动员状态,BHBA浓度可以用来确定奶牛是否发生酮病。本研究结果显示,产犊后血浆中TG浓度下降,而BHBA浓度则上升,虽然RPC和PG配合使用对血浆中TG和BHBA含量在产犊当天、产后7d和产后14d这3个时间点的影响组间差异均不显著,但是在数值上试验组TG和BHBA含量在产后7d和产后14d时均明显低于对照组,表明RPC和PG配合使用可在一定程度上降低血浆中TG和BHBA含量,降低酮病的发生几率,而TG和BHBA浓度变化是与奶牛体内能量供应变化相联系的,因此在某种程度上说明了RPC和PG配合使用改善了奶牛能量平衡状态,减缓了脂肪动员。产犊后乳脂合成需要使血浆中TG浓度下降,

而脂肪动员导致BHBA浓度上升,一方面PG可以通过促进糖异生作用来缓解能量负平衡而减少脂肪动员,另一方面RPC则可以提高肝脏氧化脂肪和输出脂肪的能力,因而RPC和PG配合使用可以在一定程度上降低血浆中TG和BHBA的含量。Pinotti等^[17]报道奶牛使用RPC可以降低30%的血浆BHBA含量;吴文旋^[10]给泌乳盛期奶牛添加每头40g/dRPC,结果表明添加RPC对血浆TG影响不大,差异不显著;丁文静^[13]试验研究结果表明添加RPC对泌乳早期奶牛血浆中TG、BHBA无显著影响;刘强等^[14]研究表明日粮添加300和400mL/d丙二醇能显著降低泌乳早期奶牛血浆中BHBA;Chung等^[6]在泌乳41d左右奶牛的日粮中添加250g/d丙二醇和50g/d包被氯化胆碱,结果显示,补充RPC和PG对血液指标无影响。

4 结论

1)与单独补充PG相比,RPC和PG配合使用对围产期高产奶牛DHI校正奶量没有影响;

2)与单独补充PG相比,RPC和PG配合使用对围产期高产奶牛奶中体细胞数有一定的积极影响,对疾病状况没有明显的改善作用,可以一定程度上降低血浆中TG和BHBA的含量;

3)与单独补充PG相比,RPC和PG配合使用对围产期高产奶牛的健康状况只有微弱的改善作用,对产奶量无影响,不建议RPC和PG配合使用。

参 考 文 献

- [1] 赵学军,彭金凤,刘建新. 高产奶牛过瘤胃胆碱营养研究进展[J]. 中国饲料,2004(15):30-35
- [2] Jorritsma R, Jorritsma H, Schukken Y H, et al. Relationships between fatty liver and fertility and some periparturient diseases in commercial Dutch dairy herds[J]. Theriogenology, 2000, 54(7):1065-1074
- [3] 冯鑫,张晓明. 过瘤胃保护胆碱在奶牛生产中的应用[J]. 中国奶牛,2011(12):9-14
- [4] Sharma B K, Erdman R A. In vitro degradation of choline from selected feedstuffs and choline supplements[J]. Journal of Dairy Science, 1989, 72(10):2772-2776
- [5] Santos J E P, Lima F S. Feeding rumen-protected choline to transition dairy cows[J/OL]. Dairy Ifas Ufl Edu, 2007: 149-160 [2012-03-20]. <http://dairy.ifas.ufl.edu/rns/2009/Santos.pdf>
- [6] Chung Y H, Brown N E, Martinez C M, et al. Effects of rumen-protected choline and dry propylene glycol on feed intake and

- blood parameters for Holstein dairy cows in early lactation[J]. *Journal of dairyscience*, 2009, 92(6): 2729-2736
- [7] Moallem U, Katz M, Arieli A, et al. Effects of peripartum propylene glycol or fats differing in fatty acid profiles on feed intake, production and plasma metabolites in dairy cows[J]. *Journal of Dairy Science*, 2007, 90(8): 3846-3856
- [8] Zom R L G, Van Baal J, Goselink R M A, et al. Effect of rumen-protected choline on performance, blood metabolites, and hepatic triacylglycerols of periparturient dairy cattle[J]. *Journal of Dairy Science*, 2011, 94(8): 4016-4027
- [9] 郑家三, 夏成, 张洪友, 等. 过瘤胃胆碱对围产期奶牛生产性能和能量代谢的影响[J]. *中国农业大学学报*, 2012, 17(3): 114-200
- [10] 吴文旋. 过瘤胃胆碱对泌乳奶牛血液脂质代谢和抗氧化应激的影响[J]. *中国农学通报*, 2012, 28(02): 39-42
- [11] Miyoshi S, Pate J L, Palmquist D L. Effects of propylene glycol drenching on energy balance, plasma glucose, plasma insulin, ovarian function and conception in dairy cows[J]. *Animal Reproduction Science*, 2001, 68(1): 29-43
- [12] Butler S T, Pelton S H, Butler W R. Energy balance, metabolic status and the first postpartum ovarian follicle wave in cows administered propyleneglycol[J]. *Journal of Dairy Science*, 2006, 89(8): 2938-2951
- [13] 丁文静. 奶牛泌乳早期的胆碱适宜添加量研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2011: 1-56
- [14] 刘强, 王聪, 姜俊兵, 等. 丙二醇对泌乳早期奶牛泌乳性能和血液代谢产物的影响[J]. *中国农业科学*, 2009, 42(3): 1053-1060
- [15] Lima F S, Sa Filho M F, Greco L F, et al. Effects of feeding rumen-protected choline on incidence of diseases and reproduction of dairy cows[J]. *The Veterinary Journal*, 2012, 193(1): 140-145
- [16] Whitaker D A, Eayres H F, Aitchison K, et al. No effect of a dietary zinc proteinate on clinical mastitis, infection rate, recovery rate and somatic cell count in dairy cows[J]. *The Veterinary Journal*, 1997, 153(2): 197-203
- [17] Pinotti L, Campagnoli A, Sangalli L, et al. Metabolism in periparturient dairy cows fed rumen-protected choline[J]. *Journal of Animal and Feed Sciences*, 2004, 13(1): 551-554

责任编辑: 苏燕