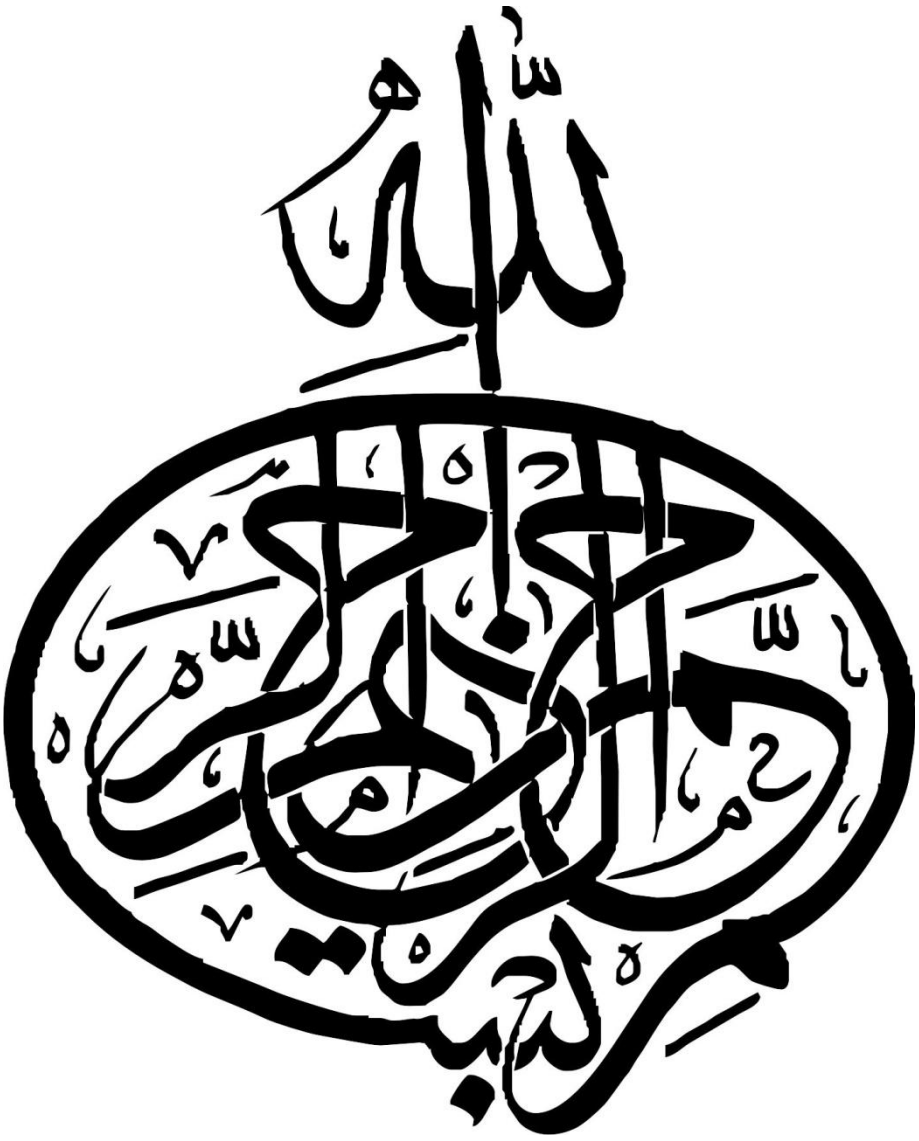


دانشکده علوم کشاورزی
گروه علوم دامی
(تغذیه دام و طیور)

عنوان

تاثیر جایگزینی کولین با سطوح مختلف بتائین بر عملکرد مرغ مادر

از

وحید بخشی‌پور براگوری

استاد راهنما

دکتر مجید متقی‌طلب

استادان مشاور

دکتر نوید قوی حسین‌زاده

مهندس عبدالرضا حسین‌دوست

اسفند ۱۳۹۲

تقدیر و تشکر

تقدیم

بر دستان پُرمهر فرشتگان زندگیم ، "پدر و مادرم"

دو دوست و یاور همیشگیم، که همیشه تکیه‌گاه من در مواجهه با مشکلات بوده و وجودشان مایه دلگرمی من می‌باشد .

و

"همسر مهربانم" ،

که با صبر و مهربانیش مشکلات مسیر را برایم تسهیل نمود

یارب دل ما را تو به رحمت جان ده

درد همه را به صابری درمان ده

این بنده چه داند که چه می باید جست

دانندہ تویی هر آنچه دانی آن ده

سپاس خدایی راکه سخنوران در ستودن او بمانند وشمارگان در شمردن نعمتهای او ندانند وکوشندگان حق او را گـذاردن نتوانند . خدایی که پای اندیشه تیز گام در راه شناسایی او سنگ است و شیر فکرت ژرف رو به دریای معرفتش برسـنگ. صفت‌های او تعریف نشدنی و به وصف در نیامدنی و در وقت ناگنجیدنی و به زمانی مخصوص نابودنی پس خدایی فقـط توراست و عدم نیز فقط در ذات تو جای ندارد و از ازل بینایی و تا ابد یکتا.

بر خود می‌دانم که تا بدینوسیله از زحمات بی‌دریغ، تلاش‌های بی‌وقفه و راهنمایی‌های ارزشمند استاد راهنمـای گرامـی جناب آقای (دکتر مجید متقی‌طلب) در طی انجام این پروژه تشکر و قدردانی نمایم.

از اساتید مشاور ارجمندم آقایان (دکتر نوید قوی حسین زاده و مهندس عبالرضا حسین‌دوست) که در مهیا سـاختن زمینـه انجام این پروژه تلاش نمودند، تشکر می‌کنم.

از استاد بزرگوار آقای (دکتر محیط) و آقای (دکتر درمانی) که زحمـت بـازخوانی و داوری پایـان نامـه را بـر عهـده داشـتند صمیمانه تشکر می‌کنم.

از مدیریت محترم شرکت نوید مرغ گیلان آقای مهندس مصطفی نوید به علت فراهم نمودن زمینه انجام ایـن پـژوهش صمیمانه سپاس‌گزارم.

از دوستان عزیزم، آقایان مهندس (علی رضا عارف نیا، جابر غلامی، محمد آیت الهـی و علـی رادمـنش) و سـرکار خـانم مهندس (محدثه هرمزدی) که در انجام این پژوهش همواره همگام و همراه من بودند تشکر و قدردانی دارم.

از گروه علمی و تحقیقی شرکت بیوشم بالاخص سرکار خانم مهندس پرهیزکار و جناب دکتر عابد کمال تشکر را دارم.

در پایان از کلیه عزیزانی که مرا در طول دوران تحصیل کمک کردند تشکر می‌نمایم و برایشان آرزوی سلامتی و پیروزی دارم.

وحید بخشی‌پور

چکیده

تاثیر جایگزینی کولین با سطوح مختلف بتائین بر عملکرد مرغ مادر

وحید بخشی‌پور براگوری

این مطالعه جهت بررسی تاثیر جایگزینی سطوح مختلف بتائین با کولین در جیره بر عملکرد و شاخص‌های خونی مرغ مادر گوشتی انجام گرفت. تعداد ۳۰۰ قطعه مرغ مادر گوشتی راس ۳۰۸ در ۵ تیمار و ۵ بلوک (۱۲ قطعه مرغ و یک قطعه خروس در هر تکرار) از سن ۳۵ تا ۴۴ هفتگی در قالب طرح بلوک کامل تصادفی مورد بررسی قرار گرفتند. تیمارهای آزمایشی شامل جیره کنترل با کولین (کنترل مثبت، PC)، جیره بدون مکمل کولین و بتائین (کنترل منفی، NC)، و جیره‌های با جایگزینی به ترتیب ۳۰ (BT_{30})، ۶۰ (BT_{60}) و۱۰۰ (BT_{100}) درصد مکمل کولین با بتائین بود. نتایج به‌دست آمده نشان داد تولید تخم‌مرغ، توده حجمی تخم‌مرغ، ضریب تبدیل خوراک و میزان آلبومین و گلوبولین خون به طور معنی‌داری تحت تاثیر تیمارهای آزمایشی قرار گرفت *(P< ۰/۰۵)*. تولید تخم‌مرغ در تیمار با جایگزینی صد درصد کولین توسط بتائین (BT_{100}) به طور معنی‌داری از تیمار کنترل مثبت (PC) بیشتر بود *(P< ۰/۰۵)*. توده حجمی تخم‌مرغ و ضریب تبدیل خوراک مصرفی در مرغانی که جیره BT_{100} را دریافت کرده بودند نسبت به تیمار NC افزایش معنی‌دار داشت *(P< ۰/۰۵)*. شاخص‌های خونی آلبومین و گلوبولین در تیمار BT_{100} نسبت به تیمارهای NC و BT_{30} بیشتر بود *(P< ۰/۰۵)*. وزن تخم‌مرغ، وزن مخصوص تخم‌مرغ، درصد جوجه‌درآوری و میزان کلسترول خون تحت تاثیر معنی‌دار جیره های آزمایشی قرار نگرفت *(P> ۰/۰۵)*. با توجه به نتایج به‌دست آمده در شرایط این مطالعه، جایگزینی مکمل بتائین با کولین در جیره می‌تواند اثر مثبت بر روی تولید تخم‌مرغ، توده حجمی تخم‌مرغ و ضریب تبدیل خوراک داشته باشد.

کلید واژه: بتائین، کولین، مرغ مادر گوشتی، تولید تخم‌مرغ، شاخص‌های خونی

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

چکیده فارسی ..... ح
چکیده انگلیسی ..... خ
مقدمه ۱

فصل اول- کلیات و مرور منابع

۱-۱- بتائین ۵
۱-۱-۱-منبع بتائین ۵
۱-۱-۲- ظرفیت اسمزی بتائین در روده ۶
۱-۱-۳- بتائین و کوکسیدیوز ۷
۱-۱-۴- اثر بتائین بر سلامت روده و هضم مواد مغذی حیوانات سالم و آلوده به کوکسیدیوز ۷
۱-۱-۵- بتائین و دهندگی متیل ۸
۱-۱-۶- بتائین جایگزینی برای متیونین و کولین ۱۱
۱-۱-۷- راندمان جایگزینی کولین با بتائین ۱۲
۱-۱-۸- تأثیر بتائین بر عملکرد و خصوصیات لاشه ۱۲
۱-۱-۹- اثرات متقابل بتائین با فاکتورهای متابولیکی و تنظیم کنندگی رشد ۱۳
۱-۱-۱۰- اثر بتائین بر مصرف نیتروژن و انرژی ۱۳
۱-۱-۱۱-عوامل موثر بر کارایی بتائین ۱۴
۱-۱-۱۲- تأثیر بتائین بر صرفه‌جویی متیونین ۱۴
۱-۱-۱۳- تأثیر بتائین بر صرفه‌جویی کولین ۱۵
۱-۱-۱۴- تنظیم اسمولاریته ۱۶
۱-۲- تاثیر بتائین در تغذیه طیور ۱۷
۱-۳- نقش بتائین در جیره‌های عاری از منابع پروتئین حیوانی ۱۸
۱-۴- میزان مصرف بتائین ۱۸
۱-۴-۱ - واحدهای پرورش طیور (مادر، تخم‌گذار، گوشتی و بوقلمون) ۱۹
۲-۴-۲- کارخانه مکمل سازی ۱۹
۱-۵- کولین ۱۹
۱-۵-۱- اعمال کولین ۲۰
۱-۵-۱-۱- ترکیب غشای پلاسما ۲۰
۱-۵-۱-۲- سوخت و ساز چربی ۲۰
۱-۵-۱-۳- انتقال پیام عصبی ۲۱
۱-۵-۱-۴- دهندگی متیل ۲۱
۱-۵-۱-۵- سنتز کولین و لیسیتین ۲۱

۲-۵-۱-۶- ترانس متیلاسیون ۲۳
۱-۵-۱-۷- سنتز گروه متیل ۲۳
۱-۵-۲- تجزیه کولین ۲۴
۱-۵-۳- میزان کولین خوراک ۲۴
۱-۶- تاثیر کولین در تغذیه طیور ۲۴

فصل دوم- مواد و روش‌ها

۲-۱-تجهیزات و سالن پرورش ۲۷
۲-۲-توزیع مرغ و مدیریت پرورش ۲۷
۲-۳-تنظیم جیره غذایی ۲۷
۲-۴-نحوه آماده سازی جیره ۲۸
۲-۵-جیره آزمایش ۲۸
۲-۶-جمع‌آوری تخم‌مرغ‌ها ۳۰
۲-۷-صفات مورد بررسی در این آزمایش ۳۰
۲-۷-۱-رکوردگیری روزانه ۳۰
۲-۷-۲-محاسبه توده حجمی تخم‌مرغ ۳۰
۲-۷-۳-مراحل محاسبه ضریب تبدیل ۳۰
۲-۸- وزن مخصوص تخم‌مرغ ۳۱
۲-۹- مراحل محاسبه قابلیت جوجه‌درآوری ۳۱
۲-۱۰- خون‌گیری و اندازه گیری آلبومین، گلوبولین و کلسترول پلاسما ۳۱
۲-۱۱- مدل آماری ۳۲

فصل سوم- نتایج و بحث

۳-۱- مقایسه اثرات سطوح مختلف جایگزینی کولین با بتائین بر صفات تولیدی ۳۴
۳-۱-۱- میزان تولید ۳۴
۳-۱-۲- وزن تخم‌مرغ ۳۶
۳-۱-۳- توده حجمی تخم‌مرغ ۳۷
۳-۱-۴- ضریب تبدیل ۳۸
۳-۲- کیفیت پوسته تخم‌مرغ (وزن مخصوص) ۴۰
۳-۳ - قابلیت جوجه درآوری ۴۲
۳-۴- آلبومین، گلوبولین و کلسترول پلاسما ۴۳

۳-۵- نتیجه گیری کلی ۴۶
پیشنهادات ۴۷
منابع مورد استفاده ۴۹

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول ۲-۱ ترکیب جیره پایه در تیمارهای مورد آزمایش..... ۲۹
جدول ۳ – ۱–میانگین تولید تخم‌مرغ تیمارهای آزمایشی در هفته‌های مختلف..... ۳۴
جدول ۳ –۲ – میانگین وزن تخم‌مرغ تیمارهای آزمایشی در هفته‌های مختلف ۳۶
جدول ۳ – ۳–میانگین توده حجمی تخم‌مرغ تیمارهای آزمایشی در هفته های مختلف..... ۳۸
جدول ۳ –۴– میانگین ضریب تبدیل غذایی تیمارهای آزمایشی در هفته‌های مختلف..... ۳۹
جدول ۳ –۴ –میانگین وزن مخصوص تخم‌مرغ تیمارهای آزمایشی در هفته‌های مختلف ۴۱
جدول ۳ –۶ –قابلیت جوجه‌درآوری تیمارهای آزمایشی در هفته‌های مختلف..... ۴۲
جدول ۳-۷- اثر تیمارهای آزمایشی بر فاکتورهای خونی (آلبومین، گلوبولین و کلسترول) مرغان مادر گوشتی ۴۴

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۱-۱- ساختار شمیایی بتائین ۵
شکل ۱-۲- بتائین و دهندگی متیل..... ۹
شکل۱-۳- ارتباط کولین، فولیک اسید و متیونین ۲۲
شکل۱-۴- مسیر سیتیدین دی فسفو کولین..... ۲۲
شکل ۱-۵- مسیر دهندگی متیل برای سنتز کولین..... ۲۳

مقدمه

پرورش طیور در جهان از قدمت دیرینه‌ای برخوردار است. با توجه به حجم وسیع سرمایه گذاری‌ها در این بخش و تعداد بسیار زیاد شاغلین در این صنعت و صنایع مرتبط با آن و همچنین با اذعان به نقش و اهمیت به‌سزایی که این صنعت از دیرباز در تغذیه بشر داشته، تاکنون تحقیقات و پژوهش‌های گسترده‌ای در ابعاد مختلف علوم طیور انجام شده، و محققان زیادی در تکاپوی یافتن راهکارهای نوین در جهت افزایش بهره‌وری و ارزش افزوده این سیستم می‌باشند. دانش تغذیه و علوم مرتبط با آن در صنعت طیور، از اهمیت و جایگاه ویژه‌ای برخوردار بوده و به دلیل اینکه بخش عمده از هزینه‌های جاری در پرورش طیور، صرف تغذیه می‌شود، بنابراین اکثر پژوهش‌ها معطوف به این بخش است. از جمله مواد مغذی تاثیرگذار و مهم در تغذیه طیور دهنده‌های گروه متیل شامل متیونین، کولین و بتائین هستند که در بیش از ۲۰۰ واکنش متیلاسیون مختلف مانند DNA، RNA و لیپیدهای غشای سلولی و نیز جهت ساخت ترکیبات متابولیتی از قبیل کارنیتین و کراتین شرکت دارند [Stryer, 1995].

کولین قبل از شرکت در چرخه انتقال متیل باید به بتائین تبدیل شود، بنابراین افزودن بتائین در جیره می‌تواند در متیلاسیون مجدد هموسیستئین موثرتر از کولین عمل نماید [Saarinen *et al.*, 2001]. کاستاینگ و همکاران [Castaing *et al.*, 2002] گزارش کردند که در دوره بعد ازاوج تولید، بتائین می‌تواند به طور کامل جایگزین کولین کلراید در جیره‌های بر پایه ذرت- سویا در مرغان تخم‌گذار شود. به‌علاوه سعید و دونینگ [Sayed and Downing, 2011] گزارش نمودند که افزودن بتائین به میزان ۵۰۰ mg/L به آب آشامیدنی باعث بهبود وزن جوجه‌های گوشتی در استرس حرارتی می‌گردد. برای متیله کردن هموسیستئین و کراتین در طیور گوشتی، راندمان کولین نسبت به بتائین بالاتر است [Steekol *et al.*, 1953].

بر اساس مطالعات کتونن و همکاران [Kettunnen *et al.*, 2001] مشخص گردید که مکمل سازی بتائین می‌تواند به عنوان گروه‌های دهنده متیل، سبب بهبود محیط گوارش شده و مقاومت جوجه‌ها را در برابر آلودگی کوکسیدوز، صدمه به غشای روده، از دست دادن آب بدن، اسهال و هضم و جذب ناقص بالا برده و بازده را افزایش دهد. ساندرسون و ماکینالی [Saunderson and Mackinlay, 1990] گزارش کردند که تجمع بتائین در سلول می‌تواند به‌عنوان محافظی در برابر استرس اسمزی عمل نماید. یافته‌های یک تحقیق نشان داد که در مرغان تخم‌گذار ضریب تبدیل غذایی و کیفیت پوسته تخم‌مرغ با مکمل سازی جیره با ۲۰۰۰-۵۰۰ قسمت در میلیون بتائین بهبود می‌یابد [Ryu *et al.*, 2002].

تولبا و ال ناگار [Tollba and El-Nagar, 2008] گزارش کردند که با افزودن بتائین و کولین به جیره، آلبومین، گلوبولین و پروتئین کل به علت نقش گروه‌های دهنده متیل در متابولیسم پروتئین بهبود می‌یابد. به‌علاوه اگرچه تراکم گله باعث کاهش تولید و توده تخم‌مرغ می‌گردد، ولی با افزودن بتائین به جیره می‌توان این کاهش را بهبود داد.

هروبی و همکاران [Hruby *et al*., 2005] با تغذیه جیره حاوی بتائین، بدون کولین کلراید نتیجه گرفتند که بتائین می‌تواند علاوه بر صرفه اقتصادی، بازده مرغان تخم‌گذار را در طی دوره اوج تولید حفظ کند. عزت و همکاران [Ezzat *et al*.,2011] نشان دادند بهترین بازده اقتصادی با بتائین همراه با ویتامین‌ها به دست می‌آید.

با توجه به نتایج مطالعات به نظر می‌رسد که بتائین می‌تواند جایگزین کولین در جیره مرغان مادر گوشتی شده و به عنوان منبعی برای تولید گروه متیل در انجام فرآیندهای متابولیکی در جیره مورد استفاده قرار گیرد.

هدف ازانجام این مطالعه جایگزینی بتائین با کولین و بررسی تاثیر آن روی برخی شاخص‌های تولیدی و عملکردی مرغان مادر گوشتی بود.

فصل اول

کلیات و مرور منابع

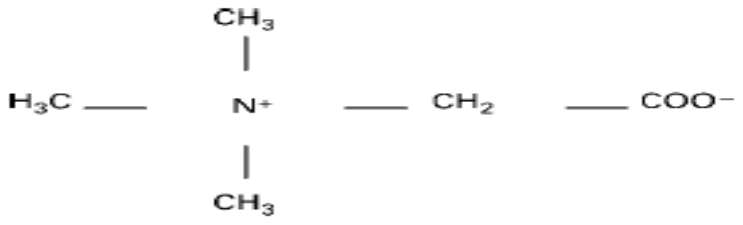
در تغذیه مرغ‌های تخم‌گذار از جمله موارد مهمی که باید مورد توجه قرار گیرد، تغذیه مناسب و مطابق با نیاز پرنده جهت دست‌یابی به تولید بهینه تخم‌مرغ و ضریب تبدیل غذایی مناسب می‌باشد. احتیاجات مطلق مرغ‌های تخم‌گذار و یا مادر تحت تاثیر چندین عامل از جمله وزن بدن، میزان تولید، یکنواختی گله و خصوصیات مواد مغذی جیره قرار دارد. با توجه به عوامل فوق ضمن کنترل مقدار مواد مغذی مصرفی، می‌توان روشی مناسب برای تنظیم و بهینه سازی مصرف خوراک و دست‌یابی به بالاترین راندمان ممکن طراحی نموده تا به مرحله اجرا درآید.

کارایی بالاتر بتائین به‌عنوان دهنده گروه متیل در طیور در مقایسه با کولین، به‌علت شرکت بتائین در متابولیسم پروتئین‌ها و چربی‌ها [Hassan *et al*., 2005] و همچنین به‌عنوان یک اسمولایت آلی جهت مقابله با فشار اسمزی [Hochachka and Somero, 1984] و یا به‌عنوان یک عامل ضد استرس [Ezzat *et al*., 2011] اثبات شده است.

۱-۱- بتائین

بتائین یا تری متیل گلیسین یک ماده طبیعی محلول در آب است. به دلیل ساختار شیمیایی (شکل۱-۱) خواص مختلفی برای بتائین ذکر شده است. در گیاهان، باکتری ها و حیوانات دریایی بتائین به عنوان تنظیم کننده فشار اسمزی عمل می‌کند[Le Rudulier, 1984].

فعالیت اسمزی بتائین به علت ویژگی‌های یون دو قطبی و حلالیت بالای آن در آب می‌باشد [Chambers and Kunin, 1985]. همچنین بتائین سه گروه متیل مورد نیاز که در واکنش ترانس متیله شدن برای سنتز برخی از مواد از قبیل کارنیتین و کراتین استفاده می‌شود را تأمین می‌کند [Kidd *et al*., 1997]. در تغذیه حیوانات از بتائین به علت اثرات لیپوتروپیک و تسریع در رشد به عنوان تعدیل کننده لاشه نام برده شده است.



شکل ۱-۱- ساختار شمیایی بتائین [Eklund *et al*., 2005].

۱-۱-۱-منبع بتائین

از جمله مواد حاوی مقادیر زیاد بتائین، چغندر قند است. به علاوه، مقادیر قابل توجه بتائین در سبوس گندم و گندم یافت می‌شود [Westerberg, 1951; Kidd *et al*., 1997]. با وجود این بتائین به عنوان افزودنی غذایی در اشکال خالص موجود است. مانند بتائین بی‌آب، بتائین مونوفسفات و بتائین هیدروکلرید. بتائین هیدروکلرید در مقایسه با بتائین بی‌آب و بتائین مونوفسفات انحلال پذیری کمتری داشته و در نتیجه ظرفیت اسمولاریته آن پایین است [EU-Safety Data Sheet, 1999]. از طرف دیگر، بتائین هیدروکلراید با کاهش *p*H معده سبب بهبود هضم مواد مغذی به روش متفاوت از بتائین می‌شود.

از آنجایی که اسمولیت‌ها به از دست رفتن حداقلی آب در مقابل شیب اسمزی غالب کمک می‌کنند؛ لذا این ترکیبات در موقعیت هیدراته شدن سلول‌ها حائز اهمیت هستند [Klasing *et al*., 2002]. بتائین با اثر حفظ اسمولاریته از طریق تجمع در ارگان‌های سلول و سلول‌هایی که در معرض تنش اسمزی و یونی قرار می‌گیرند کاربرد دارد.

مشخص شده است که تغییر در حجم آب سلولی بر فعالیت سلول اثر می‌گذارد. به‌عنوان مثال، افزایش جزئی در حجم سلول، سلول را به سمت وضعیت آنابولیکی سوق می‌دهد [Haussinger *et al*., 1998]. در نتیجه حفظ تعادل آب یک عامل مهم برای سلول‌هایی است که در معرض فشار اسمزی متفاوت قرار می‌گیرند. به‌علاوه مشخص شده است که سلول-های اندوتلیال که در معرض هیپراسمولاریته قرار گرفته‌اند تکثیر سلولی را متوقف نموده و متحمل مرگ سلولی می‌شوند [Alfieri *et al*., 2002]. شواهدی موجود است که بتائین مصرف انرژی را به منظور پمپ نمودن یون در سلول‌هایی که در معرض فشار اسمزی زیاد قرار گرفته‌اند را کاهش و ضمن ذخیره انرژی، تکثیر سلولی را به پیش می‌برد [Haussinger *et al*., 1998].

۱-۱-۲- ظرفیت اسمزی بتائین در روده

سلول‌های روده همواره بر تغییرات فشار اسمزی غلبه می‌کنند؛ به این دلیل محتوای لومینال روده دارای اسمولاریته بالاتری نسبت به پلاسمای خون است. به علاوه مکانیسم حفظ اسمولاریته در مراحل هضم و جذب مواد مغذی ضروری است. از این رو سلوهای روده تبادل آب، مواد حل شده از قبیل یون، مواد مغذی و ماکرومولکول‌ها را بین مایع پلاسما و روده بر عهده دارند.

به نظر می‌رسد که بتائین می‌تواند به‌عنوان یک بیومولکول آلی مهم برای کنترل فشار اسمزی داخل سلول‌های پوششی روده باشد [Hochachka and Somero, 1984]. حفظ فشار اسمزی، سبب حفظ تعادل آب و حجم سلول‌های روده شده، در نتیجه ترشح آنزیم‌های هضمی را تسهیل می‌سازد. در صورتی که بتائین تکثیر سلولی را در بافت روده تحریک کند، توسعه دیواره اپیتلیوم روده با افزایش سطح سبب جذب بهتر مواد مغذی می‌شود.

۱-۱-۳- بتائین و کوکسیدیوز

انگل‌های روده عمدتاً مهره داران را آلوده می‌سازند. کوکسیدیا عوامل بیماری زا شایع در جوجه است. این پاتوژن‌ها، روده را آلوده ساخته و سبب آسیب‌هایی می‌شود که به صورت ماکروسکوپی و میکروسکوپی قابل رویت هستند. اختلال در جذب و اسهال از نشانه‌های کوکسیدیوز هستند. بتائین بر تعادل آب در طیوری که در معرض کوکسیدیوز قرار گرفته‌اند اثر مثبت دارد [Teeter *et al*., 1999]. به علاوه در بوقلمون [Ferket, 1995] و طیور [Remus *et al*., 1995] سبب کاهش آب مدفوع می‌گردد.

کاهش در آب مدفوع و نیز کاهش بیماری در خوک‌های از شیر گرفته گزارش شده است [Xu and Yu, 2000]. آگوستین و همکاران [Augustine *et al*., 1997] پیشنهاد کردند که بتائین در بهبود عملکرد جوجه‌های مبتلا به کوکسیدیوز به صورت مستقیم از طریق ممانعت از تهاجم و توسعه کوکسیدیا و به صورت غیر مستقیم با بهبود ساختار روده شرکت می-کند.

۱-۱-۴- اثر بتائین بر سلامت روده و هضم مواد مغذی حیوانات سالم و آلوده به کوکسیدیوز

دلایل قانع کننده‌ای موجود است که بتائین سبب بهبود عملکرد روده می‌گردد. تجمع بتائین منجر به افزایش ظرفیت سلول‌های روده برای اتصال به آب می‌شود [Remus and Quarles, 2000]. فرناندز و همکاران [Fernandez *et al*., 2002] نشان دادند که مکمل بتائین در سطح ۰/۱۲۵ درصد وزن روده کوچک را در خوک افزایش می‌دهد. بر اساس نتایج مطالعات کتونن و همکاران [Kettunnen *et al*., 2001] بیشتر بتائین در شکل خالص در بخش میانی ژژنوم جوجه گوشتی جذب می‌شود. در جوجه‌های آلوده شده به کوکسیدیوز، بتائین قابلیت هضم متیونین، [Augustine and Danforth, 1999] پروتئین، لیزین، چربی و کارتنوئید [Remus *et al*., 1995] را افزایش می‌دهد. نتایج مطالعات اورلند و همکاران [Overland *et al*., 1999] نشان داد که بهبود در قابلیت هضم چربی به افزایش حجم صفرا به علت افزایش ترشح صفرا نسبت داده شده است. از آنجایی که بتائین به گلایسین متابولیزه می‌شود، مکمل بتائین قابلیت هضم چربی را بهبود می‌بخشد. مشخص شده است که بتایئن در عمل انتقال متیل در فرایند سنتز کیلومیکرون که در جذب چربی مشارکت می‌کند نقش دارد [Sparks and Sparks, 1994; Yao and McLeod, 1994].

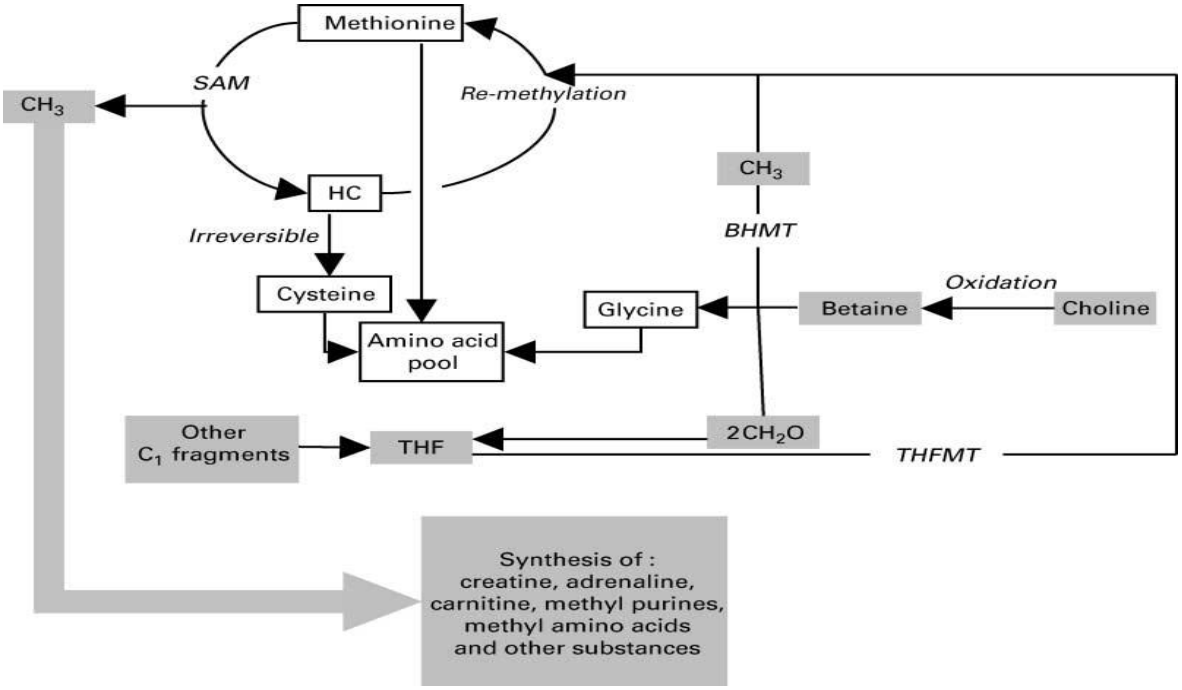
در نشخوارکنندگان، فرآورده‌های چغندر قند غنی از بتائین منجر به بهبود تخمیر ذرات شوینده خنثی فیبر شده که بازتابی از افزایش اسیدهای چرب فرار شکمبه است. به طور مشابه، درجه تخمیر در دستگاه گوارش حیوانات تک معده‌ای تحت تأثیر بتائین قرار می‌گیرد. تعدادی از مطالعات ارتباط نزدیکی بین pH گوشت و مکمل بتائین جیره پیشنهاد کردند. کاهش pH گوشت پس از کشتار با تجمع اسید لاکتیک تحریک می‌شود. کاهش آهسته‌تر در pH با مکمل بتائین به

کاهش تجمع اسید لاکتیک نسبت داده شده است. تأخیر در کاهش *p*H در نتیجه کاهش تغییر ماهیت پروتئین بوده که به نوبه خود، اتلاف آب گوشت را کاهش می‌دهد [Matthews *et al.*, 2001]. مشخص شده است که بتائین تجمع اسید لاکتیک را در ماهیچه اسب کاهش می‌دهد [Zhan and Xu, 1999]. به علاوه بتائین با کاهش *p*H گوشت سبب غیرفعال کردن آنزیم شده که نتیجه آن تاثیر روی کیفیت گوشت است. در نتیجه، بتائین بر *p*H گوشت از طریق اثرات افزایشی بر میزان کراتین ماهیچه اثر می‌گذارد [Remus and Quarles, 2000].

۱-۱-۵- بتائین و دهندگی متیل

گروه متیل برای سنتز شماری از مواد از قبیل کراتین، فسفاتیدیل کولین، کارنیتین، آدرنالین، اسیدهای آمینه متیله شده مورد نیاز است. انتقال گروه متیل با فعال‌سازی متیونین در نتیجه دادن متیل به S- آدنوزیل متیونین انجام می‌شود. این فعال‌سازی سبب انتقال گروه متیل از متیونین به گروه پذیرنده متیل می‌گردد. در این واکنش S-آدنوزیل متیونین به S-آدنوزیل هموسیستین تبدیل، متعاقباً هموسیستین در دو مسیر متابولیکی مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد. ابتدا هموسیستین در جهت یک طرفه می‌تواند به سیستین تبدیل تا برای سنتز پروتئین مصرف شود. ثانیاً هموسیستین به شکل متیونین دوباره متیله می‌شود. متیله شدن دوباره متیونین با دو آنزیم مختلف انجام می‌شود. بتائین-هموسیستئین متیل ترانسفراز و تتراهیدروفولات متیل ترانسفراز .

بتائین- هموسیستین متیل ترانسفراز، انتقال گروه ناپایدار متیل را از مولکول بتائین به هموسیستین کاتالیز می‌کند. بتائین از اکسیداسیون کولین منشأ می‌گیرد. از بتائین جیره نیز می‌توان به عنوان دهنده متیل استفاده نمود (شکل۱-۲). انتقال گروه متیل منجر به تبدیل بتائین به دی متیل گلایسین شده که دارای دو گروه متیل است. این گروه‌های متیل می‌توانند از طریق اکسیداسیون در شکل تک کربنه به دو بخش تقسیم شوند. طی این واکنش دی متیل گلایسین به سارکوزین و سپس به گلایسین تجزیه می‌شوند. مولکول تک‌کربنی با تتراهیدروفولات باند شده و از طریق آنزیم تتراهیدروفولات متیل ترانسفراز به هموسیستین انتقال می‌یابد.



شکل ۱-۲- بتائین و دهندگی متیل [Eklund *et al*., 2005].

در واکنش‌های متابولیکی، سنتز پروتئین و تشکیل S- آدنوزیل متیونین برای متیونین در دسترس رقابت می‌کند. در نتیجه، متابولیت هموسیستین بین دو مسیر رقابتی تقسیم می‌شود [Finkelstein and Martin, 1984]. احتمال دارد تحت شرایط غیر فیزیولوژیک کمبود هر یک از دهندگان یا پذیرندگان متیل، تجمع متیونین و هموسیستین برای سلول سمی باشد [Hafez *et al*., 1978]. در نتیجه تنظیم سیکل ترانس متیلاسیون برای حفظ سطوح فیزیولوژیکی هموسیستین و متیونین مورد نیاز است [Finkelstein, 1998]. فرایند توزیع هموسیستین طی دو مکانیسم پیشنهاد می-شود. سطوح کم هموسیستین مسیر ترانس متیلاسیون را تحریک می‌کند. از آنجایی که آنزیم‌ها در فرآیند ترانس متیلاسیون جاذبه و میل ترکیبی بالایی به هموسیستین نشان می‌دهند، در صورتی که این آنزیم‌ها توانایی رسیدن به مسیر ترانس سولفولار را داشته باشند در اعمال S-آدنوزیل متیونین به عنوان راهنما مورد توجه خواهند بود. سطوح بالای S-آدنوزیل متیونین در شرایط سطوح بالای متیونین، مسیر ترانس سولفوراسیون را تسهیل نموده و متیله شدن مجدد را با ممانعت از فعالیت آنزیم‌های متیله کننده و فعال‌سازی مسیر ترانس سولفوراسیون محدود می‌کند. در مقابل سطوح پایین هموسیستین حفظ هموسیستئین را افزایش می‌دهد. همچنین گلایسین یک نقش اصلی و بنیادی در حفظ تعادل در سیکل ترانس متیلاسیون دارد. در صورت تأمین کم پذیرندگان متیل، گروه متیل S - آدنوزیل متیونین به گلایسین انتقال می‌یابد. آنزیم‌های مشارکت کننده میل ترکیبی بالایی به تولیدات غیر سمی نشان داده و در هنگام نیاز گروه متیل می‌تواند مجدداً تولید شود. تغییر در سطوح S- آدنوزیل متیونین و هموسیستین همانند فعالیت بتائین- هموسیستین متیل ترانسفراز پلاسما در نتیجه تأمین گروه متیل به مقدار زیاد به تعادل واقعی در سیکل ترانس متیلاسیون وابسته است

[Emmert *et al.*,1998]. بر اساس نتایج تحقیقات امرت و همکاران [Emmert *et al.*, 1998] جیره‌های حاوی کمبود متیونین سبب افزایش فعالیت بتائین- هموسیستین متیل ترانسفراز در طیور می‌شوند. افزایش بیشتر فعالیت بتائین- هموسیستین متیل ترانسفراز در خوک و طیور در شرایط کمبود متیونین جیره و استفاده از مکمل کولین و بتائین مشاهده گردید [Emmert *et al.*, 1998]. بیشترین افزایش هنگامی مشاهده شد که جیره به طور همزمان با سیستئین مکمل گردید. این نتایج نشان می‌دهد که در مقادیر بالا سیستئین مسیر متیلاسیون هموسیستین را حذف می‌کند. در نتیجه به نظر می‌رسد که مکمل بتائین میزان بازیافت هموسیستین را از طریق فعالیت بیشتر بتائین- هموسیستین متیل ترانسفراز افزایش می‌دهد.

بتائین جیره به طور مستقیم به عنوان دهنده گروه متیل استفاده می‌شود. اگر چه نیاز کولین برای تبدیل به بتائین در واکنش آنزیمی دو مرحله‌ای عمدتاً در میتوکندری سلول‌های کبد اتفاق می‌افتد [Kidd *et al.*, 1997]. انتقال گروه متیل (شکل ۲-۶) برای فعال‌سازی متیونین به S- آدنوزیل متیونین وابسته است که گروه متیل خود را به یک پذیرنده برای سنتز مواد مختلف از قبیل کراتین، کارنیتین و فسفاتیدیل کولین و اپی‌نفرین انتقال می‌دهد [Kidd *et al.*, 1997]. در طی این واکنش S- آدنوزیل متیونین به S- آدنوزیل هموسیستین و متعاقب آن به هموسیستین که برای دو مسیر متابولیکی مختلف رقابت می‌کند، تجزیه می‌شود. ابتدا در طی مسیر ترانس سولفوراسیون، هموسیستین در واکنش برگشت‌ناپذیر به سیستاتیونین و سپس به سیستئین که به نوبه خود می‌تواند برای سنتز پروتئین استفاده شود، تبدیل می‌شود. ثانیاً هموسیستین به شکل متیونین مجدداً از هر یک از دو مسیر بتائین (بتائین- هموسیستین متیل ترانسفراز) و مسیر تتراهیدروفولات (شامل فولات و ویتامین B_{12}) از طریق متیل- تتراهیدروفولات هموسیستین متیل ترانسفراز متیله می‌شود [Finkelstein and Martin, 1984; Xue and Snoswell, 1987; Kidd *et al.*, 1997]. بتائین- هموسیتین متیل ترانسفراز به صورت ویژه انتقال گروه‌های ناپایدار متیل را از مولکول بتائین به هموسیستین کاتالیز می‌کند [Eklund *et al.*, 2005].

به دنبال افزودن مکمل بتائین، فعالیت بتائین- هموسیستین متیل ترانسفراز در خوک‌های تغذیه شده با جیره حاوی سطوح کافی متیونین یا جیره با کمبود متیونین افزایش می‌یابد [Emmert *et al.*, 1998]. نتایج مشابهی در جوجه‌های گوشتی تغذیه شده با جیره داری سطوح کافی یا کمبود متیونین به‌دست آمد [Emmert *et al.*, 1998]. نتایج به‌دست آمده بیانگر این موضوع است که خوک و طیور نیاز خاصی به گروه‌های متیل ناپایدار دارند. افزایش سطوح مکمل بتائین از ۰/۰۸ به ۰/۱۳ درصد به جیره حاوی سطوح کافی اسیدآمینه گوگرددار و کمبود متیونین و یا کمبود هر دو آن‌ها میزان پروتئین پلاسما را در جوجه‌های گوشتی افزایش داد که نشان‌دهنده میزان بالای کل متیله شدن مجدد است. به علاوه افزودن بتائین به جیره طیور که از نظر متیونین وسیستئین کمبود دارد و یا از نظر متیونین کمبود و از نظر سیستئین کافی است