بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده کشاورزی

پاسخ اسید لینولئیک مزدوج شیر گاوهای شیری هلشتاین به عنوان غذای فراسودمند به منبع غله و مکمل روغن

رساله دکترای علوم دامی

شهریار کارگر

اساتید راهنما

دکتر غلام‌رضا قربانی

دکتر محمد خوروش

۱۳۹۲

دانشگاه صنعتی اصفهان
دانشکده کشاورزی

رساله دکترای علوم دامی آقای شهریار کارگر
تحت عنوان

پاسخ اسید لینولئیک مزدوج شیر گاوهای شیری هلشتاین به عنوان غذای فراسودمند به منبع غله و مکمل روغن

در تاریخ ۱۳۹۲/۱۱/۲۹ توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

۱- استاد راهنمای رساله	دکتر غلام‌رضا قربانی
۲- استاد راهنمای رساله	دکتر محمد خوروش
۳- استاد مشاور رساله	دکتر دیوید شینگوته
۴- استاد مشاور رساله	دکتر مسعود علیخانی
۵- استاد داور	دکتر حمید امانلو
۶- استاد داور	دکتر مهدی کدیور
۷- استاد داور	دکتر احمد ریاسی
سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده	دکتر محمد مهدی مجیدی

تشکر و قدردانی

شکر و سپاس آفریدگاری را که بشر را قدرت تعقل و تفکر عطا فرمود. یقین که الطاف بی‌کران آن دانای بی‌همتا مرا یاری نمود تا قدم در راه تحصیل بگذارم و هم او بود که دستم بگرفت و پا به پا برد.
اکنون که به سر منزل مرحله‌ای دیگر از این مسیر رسیدم بر خود لازم می‌دانم تا بعد از شکر الهی و سپاس بی‌انتها از خانواده عزیزم که در این راه یار و یاور من بودند، تشکر نمایم. از استادان راهنمای ارجمندم آقایان دکتر غلامرضا قربانی و دکتر محمد خوروش که در طول اجرای این رساله همواره راهنما و پشتیبان من بودند و در طی این مدت از محضرشان درس اخلاق و زندگی کسب کردم، تشکر می‌کنم. از استادان بزرگوار آقایان دکتر دیوید شینگوته (از دانشگاه ایالتی داکوتای جنوبی کشور آمریکا) و دکتر مسعود علیخانی که زحمت مشاوره رساله و هم‌چنین از آقایان دکتر حمید امانلو، دکتر مهدی کدیور و دکتر احمد ریاسی که زحمت بازخوانی متن رساله و داوری آن را عهده‌دار شدند، صمیمانه تشکر می‌کنم.
از زحمات مدیران ساعی و علمی شرکت‌های کشت و دام فکا (مخصوصاً آقای مهندس جمشید جلیل‌نژاد به خاطر تفکر نوین ایشان در ایجاد ارتباط صنعت با دانشگاه چیزی که هنوز در ایران نهادینه نشده است)، گلدشت نمونه اصفهان، نهان گل و پارس کیلکا که در راستای انجام رساله با ما همکاری مادی و معنوی داشتند، صمیمانه تشکر و قدردانی می‌کنم. از اساتید گرانقدر آقایان دکتر یویس شیلارد (از سازمان پژوهش‌های کشاورزی کشور فرانسه) و دکتر ونژو یانگ (از مرکز پژوهش‌های کشاورزی و غذایی کشور کانادا) به خاطر راهنمایی‌ها و همفکری‌ها در طول انجام رساله، از آقای دکتر لوئیز آرمنتانو (از دانشگاه ویسکانسین-مدیسن کشور آمریکا) که در طول دوره فرصت پژوهشی از حضور ایشان بهره بردم و از خانم دکتر ویرله فایوز (از دانشگاه گنت کشور بلژیک) که زحمت تعیین الگوی اسیدهای چرب شیر با ایشان بود، کمال امتنان را دارم. هم‌چنین، از صندوق حمایت از پژوهشگران و فن‌آوران دفتر ریاست جمهوری که این رساله را پشتیبانی مالی کردند، صمیمانه تشکر می‌کنم.
از دوستان خوبم آقایان فرزاد هاشم‌زاده‌سیگاری، عزیزالله باختری، مهدی میرزائی، حشمت‌الله بهرامی‌یکدانگی، احمد شاهمرادی، پیروز شاکری، سید محمود نصراللهی، ابراهیم قاسمی، علی صادقی سفیدمزگی، مهدی صفاهانی لنگرودی، محمد آریانا، سعید کریمی، بابک باغبان‌زاده‌نوبری، رستم عبداللهی‌آرپناهی، احسان کمالیان، حامد بیرانوند، سید جلال بکا، یدالله محرمی، علی کهیانی، مهدی صائبی‌فر، حسین اکبری‌زاده، شاهین عبادی، محسن باباشاهی، مجتبی ارجمندفر، طغرل لطفی‌پور، بهزاد رفیعی، کیانوش اساسی، محمد مشتاقیان، حمید رضا معمار، کیخسرو کریمی، الهه جهانیان، اعضای آزمایشگاه علوم دامی و کارکنان مزرعه آموزشی-پژوهشی لورک دانشگاه صنعتی اصفهان که در انجام این رساله مرا یاری نمودند، تشکر می‌کنم. هم‌چنین، بدین وسیله مراتب سپاس و قدردانی خود را حضور کارمندان خدوم و ساعی تحصیلات تکمیلی دانشکده و دانشگاه خصوصاً سرکار خانم کرمی، حاجی‌نیا و رزاق‌زاده اعلام داشته و یاد دیگر دوستان خوبم که ذکر نامشان در این نوشته کوتاه نمی‌گنجد در خاطرم خواهد ماند و برای آن‌ها آرزوی موفقیت و سربلندی می‌نمایم.

شهریار کارگر
بهمن ماه ۱۳۹۲
دانشگاه صنعتی اصفهان

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات و نوآوری‌های ناشی از موضوع پژوهش این رساله متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان است.

تقدیم به بهترین‌های زندگی‌ام
اسطوره تلاش و استقامت،
پـدرم
دریای مهر و محبت،
مـادرم
و یـاران صمیمی،
خواهران و برادران عزیزم

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست مطالب.....هشت
فهرست اشکال.....یازده
فهرست جداول.....دوازده

چکیده ۱
فصل اول: مقدمه
۱-۱- مقدمه ۲
فصل دوم: بررسی منابع
۲-۱- مقدمه ۶
۲-۲- تجزیه لیپیدی در شکمبه و زیست هیدروژنه شدن ۷
۲-۲-۱- تجزیه لیپیدی در شکمبه..... ۸
۲-۲-۲- زیست هیدروژنه شدن ۹
۲-۲-۳- جمعیت باکتریائی مؤثر بر تجزیه لیپیدی و زیست هیدروژنه شدن و الگوی اسیدهای چرب آن‌ها ۱۳
۲-۳- ساخت ایزومرهای اسیدهای چرب مزدوج در شکمبه ۱۴
۲-۳-۱- ساخت ایزومرهای اسید لینولئیک مزدوج در شکمبه.....۱۴
۲-۳-۲- ساخت ایزومرهای اسید لینولنیک مزدوج در شکمبه.....۲۱
۲-۴- اسیدهای چرب فرد کربن و شاخه دار.....۲۳
۲-۵- گوارش‌پذیری و جذب اسیدهای چرب از دئودنوم ۲۶
۲-۶- ساخت چربی شیر در غدد پستانی.....۲۷
۲-۶-۱- ساخت درون‌زاد اسیدهای چرب کوتاه و میان زنجیر ۲۷
۲-۶-۲- جذب اسیدهای بلند زنجیر از خون ۲۸
۲-۶-۳- ساخت تری‌گلیسرید در غدد پستانی.....۲۹
۲-۷- عوامل تغذیه‌ای القاءکننده کاهش چربی شیر.....۳۰
۲-۷-۱- تعریف سندروم کاهش چربی شیر ۳۰
۲-۷-۲- تئوری زیست هیدروژنه شدن.....۳۱
۲-۷-۳- اثر جیره‌های القاء کننده سندروم کاهش چربی شیر بر تولید اسیدهای چرب شیر ۳۴
۲-۸- اثر اسیدهای چرب ۱۸ کربنه بر ساخت چربی شیر و تولید اسیدهای چرب ۳۶
فصل سوم: مواد و روش‌ها
۳-۱- مکان اجرای طرح‌های پژوهشی.....۴۰

۳-۲- مواد و روش‌ها ۴۰
۳-۲-۱- دام‌ها، طرح آزمایش و تیمارهای پژوهش اول ۴۰
۳-۲-۲- دام‌ها، طرح آزمایش و تیمارهای پژوهش دوم ۴۴
۳-۲-۳- اندازه‌گیری ضخامت لایه چربی پشت و نمونه‌گیری از خون و تجزیه آزمایشگاهی ۴۷
۳-۲-۴- نمونه‌گیری از خوراک و مدفوع و تجزیه آزمایشگاهی ۴۷
۳-۲-۵- اندازه‌گیری توزیع اندازه ذرات خوراک و پسمانده‌ها ۴۸
۳-۲-۶- رفتار انتخاب و فعالیت جویدن ۴۸
۳-۲-۷- نمونه‌گیری از مایع شکمبه و تعیین اسیدهای چرب فرار ۴۹
۳-۲-۸- تولید شیر و تعیین ترکیبات آن ۴۹
۳-۲-۹- تعیین الگوی اسیدهای چرب شیر ۴۹
۳-۲-۱۰- تجزیه آماری داده‌های پژوهش اول ۵۰
۳-۲-۱۱- تجزیه آماری داده‌های پژوهش دوم ۵۱
فصل چهارم: نتایج و بحث
۴-۱- تشریح اهداف پژوهش اول ۵۲
۴-۲- نتایج و بحث پژوهش اول ۵۵
۴-۲-۱- خصوصیات جیره‌های آزمایشی و توزیع اندازه ذرات آن‌ها ۵۵
۴-۲-۲- رفتار انتخاب ۵۸
۴-۲-۳- ضخامت لایه چربی پشت و فراسنجه‌های خونی ۵۸
۴-۲-۴- مصرف مواد مغذی ۶۰
۴-۲-۵- الگوی مصرف خوراک و نشخوار ۶۳
۴-۲-۶- فعالیت جویدن ۶۵
۴-۲-۷- فراسنجه‌های تخمیر شکمبه ۶۹
۴-۲-۸- گوارش‌پذیری ظاهری مواد مغذی در کل دستگاه گوارش ۷۰
۴-۲-۱۰- الگوی اسیدهای چرب شیر ۷۶
۴-۳- نتیجه‌گیری از پژوهش اول ۹۰
۴-۴- تشریح اهداف پژوهش دوم ۹۱
۴-۵- نتایج و بحث پژوهش دوم ۹۴
۴-۵-۱- خصوصیات جیره‌های آزمایشی و توزیع اندازه ذرات آن‌ها ۹۴
۴-۵-۲- رفتار انتخاب، نمره وضعیت بدنی و ضخامت لایه چربی پشت ۹۷
۴-۵-۳- مصرف مواد مغذی ۹۹
۴-۵-۴- الگوی مصرف خوراک و نشخوار ۱۰۱
۴-۵-۵- فعالیت جویدن ۱۰۱

۴-۵-۶- فراسنجه‌های تخمیر شکمبه ۱۰۶
۴-۵-۷- گوارش‌پذیری ظاهری مواد مغذی در کل دستگاه گوارش ۱۰۸
۴-۵-۸- تولید شیر و ترکیبات آن ۱۱۱
۴-۵-۹- الگوی اسیدهای چرب شیر ۱۱۴
۴-۶- نتیجه‌گیری از پژوهش دوم ۱۲۲
فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادها
۵-۱- نتیجه‌گیری کلی ۱۲۴
۵-۲- پیشنهادها ۱۲۵
منابع ۱۲۶

فهرست اشکال

شکل **صفحه**

شکل ۲-۱- شمائی از زیست هیدروژنه شدن استر اسیدهای چرب غیر اشباع با چند پیوند دو گانه ۱۰
شکل ۲-۲- شمائی از زیست هیدروژنه شدن اسید لینولئیک در شکمبه ۱۵
شکل ۲-۳- شمائی از زیست هیدروژنه شدن اسید اولئیک در شکمبه ۱۷
شکل ۲-۴- شمائی از زیست هیدروژنه شدن اسیدهای چرب در شکمبه با روند طبیعی و تغییر یافته ۲۰
شکل ۲-۵- شمائی از زیست هیدروژنه شدن اسید لینولنیک در شکمبه ۲۲

فهرست جداول

جدول **صفحه**

جدول ۳-۱- اقلام خوراکی و ترکیب شیمیائی جیره‌های آزمایشی بر اساس ماده خشک ۴۲
جدول ۳-۲- الگوی اسیدهای چرب مکمل‌های روغن استفاده شده در جیره‌های آزمایشی ۴۳
جدول ۳-۳- اقلام خوراکی و ترکیب شیمیائی جیره‌های آزمایشی بر اساس ماده خشک ۴۵
جدول ۳-۴- الگوی اسیدهای چرب مکمل‌های روغن استفاده شده در جیره‌های آزمایشی ۴۶
جدول ۴-۱- خصوصیات فیزیکی علوفه و جیره‌های آزمایشی ۵۷
جدول ۴-۲- اثر منبع غله و مکمل روغن بر فعالیت انتخاب و مصرف ذرات باقیمانده بر روی هر الک ۵۹
جدول ۴-۳- اثر منبع غله و مکمل روغن بر وزن بدن، نمره وضعیت بدنی، ضخامت لایه چربی پشت و فراسنجه‌های خونی ... ۶۱
جدول ۴-۴- اثر منبع غله و مکمل روغن بر مصرف مواد مغذی ۶۲
جدول ۴-۵- اثر منبع غله و مکمل روغن بر الگوی مصرف خوراک و نشخوار ۶۴
جدول ۴-۶- اثر منبع غله و مکمل روغن بر فعالیت جویدن ۶۷
جدول ۴-۷- اثر منبع غله و مکمل روغن بر الگوی تخمیرات شکمبه ۷۱
جدول ۴-۸- اثر منبع غله و مکمل روغن بر گوارش‌پذیری ظاهری مواد مغذی در کل دستگاه گوارش ۷۲
جدول ۴-۹- اثر منبع غله و مکمل روغن بر تولید شیر، ترکیبات آن و بازده خوراک ۷۵
جدول ۴-۱۰- اثر منبع غله و مکمل روغن بر الگوی اسیدهای چرب شیر ۷۸
جدول ۴-۱۱- خصوصیات فیزیکی علوفه و جیره‌های آزمایشی ۹۶
جدول ۴-۱۲- اثر تغییر دادن نسبت دانه جو به دانه ذرت بر فعالیت انتخاب، مصرف ذرات باقیمانده بر روی هر الک، نمره وضعیت بدنی و ضخامت لایه چربی پشت ۹۸
جدول ۴-۱۳- اثر تغییر دادن نسبت دانه جو به دانه ذرت بر مصرف مواد مغذی ۱۰۰
جدول ۴-۱۴- اثر تغییر دادن نسبت دانه جو به دانه ذرت بر الگوی مصرف خوراک و نشخوار ۱۰۲
جدول ۴-۱۵- اثر تغییر دادن نسبت دانه جو به دانه ذرت بر فعالیت جویدن ۱۰۴
جدول ۴-۱۶- اثر تغییر دادن نسبت دانه جو به دانه ذرت بر الگوی تخمیرات شکمبه ۱۰۷
جدول ۴-۱۷- اثر تغییر دادن نسبت دانه جو به دانه ذرت بر گوارش‌پذیری ظاهری مواد مغذی در کل دستگاه گوارش ۱۰۹
جدول ۴-۱۸- اثر تغییر دادن نسبت دانه جو به دانه ذرت بر تولید شیر، ترکیبات آن و بازده خوراک ۱۱۳
جدول ۴-۱۹- اثر تغییر دادن نسبت دانه جو به دانه ذرت بر الگوی اسیدهای چرب شیر ۱۱۸

چکیده

در پژوهش اول، اثرات منبع غله و مکمل روغن بر مصرف خوراک، رفتار تغذیه‌ای و رفتار جویدن و نیز بر پاسخ‌های عملکردی و الگوی اسیدهای چرب شیر با استفاده از هشت رأس گاو هلشتاین چند شکم‌زا (۲۲/۱ ± ۷۶/۹) در قالب آزمایش فاکتوریل ۲ × ۲ و بر پایه طرح مربع لاتین دو بار تکرار شده ارزیابی شدند. جیره‌های آزمایشی بر پایه دانه‌های جو یا ذرت آسیاب شده با ۲ درصد (بر اساس ماده خشک) روغن ماهی یا روغن سویا بودند. اثر متقابل بین منبع غله و مکمل روغن برای مصرف ذرات باقیمانده بر روی الک ۱۹ میلی‌متر و ضخامت لایه چربی پشت معنی‌دار بود اما فعالیت انتخاب تحت تأثیر آن قرار نگرفت. با نسبت یکسان علوفه به کنسانتره در جیره‌ها و نیز با اندازه ذرات مشابه از نظر میانگین هندسی، جیره‌هایی بر پایه دانه جو در مقایسه با جیره‌هایی بر پایه دانه ذرت زمان بیش‌تری برای فعالیت نشخوار نیاز داشتند که این زمان خود متأثر از افزایش طول (مدت زمان) هر وعده نشخوار بود. روغن ماهی در مقایسه با روغن سویا تمایل داشت مدت زمان نشخوار در روز را کاهش بدهد اما زمان نشخوار وقتی به صورت دقیقه به ازای کیلوگرم الیاف نامحلول در شوینده خنثی و الیاف نامحلول در شوینده خنثی علوفه‌ای مصرفی بیان شد، افزایش داد. بدون توجه به منبع غله، کاهش در ماده خشک مصرفی با تغذیه روغن ماهی به خاطر کاهش اندازه وعده غذائی و افزایش سطح مالون دی آلدهید پلاسما بود بدون این که فاصله بین وعده‌های غذائی تغییر پیدا بکند. تغییر دادن تخمیرپذیری جیره، الگوی مصرف خوراک و ماده خشک مصرفی را تحت تأثیر قرار نداد و در نتیجه تولید شیر و ترکیبات آن تحت تأثیر منبع غله قرار نگرفتند. به علاوه، پاسخ‌های تولیدی به مکمل روغن مستقل از منبع غله بود و جیره‌های حاوی روغن ماهی آن را به طور منفی متأثر کردند. گوارش‌پذیری ظاهری ماده خشک ($P = ۰/۰۵$) و عصاره اتری ($P < ۰/۰۱$) در کل دستگاه گوارش در جیره‌هایی بر پایه دانه ذرت در مقایسه با جیره‌هایی بر پایه دانه جو بیش‌تر بودند. روغن ماهی گوارش‌پذیری ظاهری کربوهیدرات غیر الیافی ($P = ۰/۰۷$) و عصاره اتری ($P = ۰/۰۳$) را در مقایسه با روغن سویا کاهش داد. غلظت مولاری پروپیونات متأثر از اثر متقابل بین اثرات اصلی شد ($P = ۰/۰۹$). در جیره‌هایی بر پایه دانه جو در مقایسه با جیره‌هایی بر پایه دانه ذرت، غلظت مولاری پروپیونات شکمبه گاوهای تغذیه شده با روغن سویا افزایش یافت. هم منبع غله و هم مکمل روغن در تغییر الگوی اسیدهای چرب شیر مؤثر بودند اما اثر متقابلی بین آن‌ها (به جز در مورد برخی از اسیدهای چرب که اهمیت بیولوژیکی‌شان هنوز به خوبی شناخته نشده است) وجود نداشت به طوری که دانه ذرت و روغن ماهی باعث افزایش اسید واسنیک و اسید رومنیک شیر شدند. با این وجود، هم دانه جو و هم روغن ماهی توانستند نسبت اسیدهای چرب فرد کربن و شاخه‌دار که خواص ضد سرطانی آن‌ها در انسان به اثبات رسیده، افزایش دهند. در کل، اثر متقابل بین منبع غله و مکمل روغن توانست رفتارهای خوردن و جویدن و غلظت مولاری پروپیونات را تحت تأثیر قرار بدهد، اما تأثیری بر عملکرد تولیدی و الگوی اسیدهای چرب شیر نداشت. در پژوهش دوم، اثر جیره‌هایی بر پایه دانه جو، دانه ذرت و یا مخلوط یکسانی از آن‌ها توأم با تغذیه مخلوطی از روغن ماهی و روغن سویا (۱ به ۵؛ ۲ درصد ماده خشک) بر عوامل مذکور پژوهش اول با استفاده از نه رأس گاو هلشتاین چند شکم‌زا (۱۱/۰ ± ۷۵/۶ روز شیردهی) در قالب طرح مربع لاتین سه بار تکرار شده ارزیابی شدند. مصرف خوراک در تمامی تیمارهای آزمایشی به خاطر این که اندازه وعده غذائی و یا فاصله بین وعده‌های مصرف خوراک با تغییر نسبت دانه جو به دانه ذرت تحت تأثیر قرار نگرفتند، یکسان بود. اگر چه گوارش‌پذیری ظاهری ماده خشک، ماده آلی و پروتئین خام در جیره‌ای بر پایه دانه جو نسبت به دانه ذرت افزایش پیدا کرد، گوارش‌پذیری الیاف تحت تأثیر قرار نگرفت که عدم تغییر در فراسنجه‌های تخمیر شکمبه‌ای بر آن صحه گذاشت. عدم تأثیر جایگزینی دانه جو به جای دانه ذرت بر الگوی فعالیت نشخوار و نیز زمان صرف شده برای نشخوار کردن ممکن است دال بر این حقیقت باشد که مصرف الیاف نامحلول در شوینده خنثی علوفه‌ای جهت مرتفع کردن برخی اثرات ناشی از تفاوت در تخمیر پذیری نشاسته دانه غلات استفاده شده در شکمبه کافی بوده است. تغییر دادن نسبت دانه جو به دانه ذرت در جیره‌هایی با ۲ درصد مخلوط روغن ماهی و روغن سویا کمینه تأثیر را بر رفتارهای خوردن و نشخوار داشت و عملکرد تولیدی را تحت تأثیر قرار نداد هر چند که باعث القاء سندروم کاهش چربی شیر شد. الگوی اسیدهای چرب شیر تحت تأثیر نسبت دانه غله در جیره قرار گرفت به طوری که جیره‌هایی بر پایه دانه ذرت در مقایسه با جیره‌هایی بر پایه دانه جو احتمالاً با افزایش فراهمی اسیدهای چرب در شکمبه باعث افزایش اسیدهای چرب واسنیک و رومنیک شیر شد. بر این اساس نشان داده شد حضور سوبسترا در مقایسه با عوامل تغییر دهنده شرایط شکمبه در افزایش اسیدهای چرب واسنیک و رومنیک شیر تأثیرگذارتر هستند.

واژه‌های کلیدی: دانه جو، دانه ذرت، روغن ماهی، روغن سویا، اسید لینولئیک مزدوج، گاو شیری

فصل اول
مقدمه

بر اساس گزارش‌های موجود بیماری‌های قلبی و عروقی یکی از مهم‌ترین عوامل مرگ و میر انسانی در جهان محسوب می‌شوند [۲۰]. متأسفانه شیوع این نوع بیماری در بین شهروندان ایرانی نیز معمول می‌باشد. در نتیجه، این نوع بیماری تهدیدی جدی برای جوامع انسانی محسوب شده و مجامع علمی با تخصص‌های مختلف بایستی در جهت کاهش احتمال بروز چنین بیماری‌هائی تشریک مساعی داشته باشند. در این خصوص و به عنوان یک راه‌کار، تولید و عرضه کافی از غذاهای فراسودمندی مانند فرآورده‌های لبنی می‌تواند در سلامت انسان نقش مؤثری ایفاء نماید. اسید لینولئیک مزدوج و یا پیش‌ساز آن که در نتیجه زیست هیدروژنه شدن شکمبه‌ای به وجود می‌آید، در مواد غذایی با منشاء دامی یافت می‌شود. بر اساس گزارشات اسید لینولئیک مزدوج دارای خواص مفید متعددی از جمله خواص ضد سرطانی، ضد تجمع پلاکت، ضد چاقی، آنتی‌اکسیدانی، تعدیل کننده سیستم ایمنی و غیره می‌باشد [۳۲ و ۲۴۹]. هم‌چنین، مدارک قابل توجهی دال بر اثرات مطلوب اسیدهای چرب امگا-۳ بسیار بلند زنجیر (ایکوزا پنتا انوئیک اسید و دکوزا هگزا انوئیک اسید) بر سلامت قلب و عروق و جلوگیری از دیابت نوع دو، فشار خون بالا، سرطان و ناراحتی‌های عصبی وجود دارد [۲۴۹]. متأسفانه سطح مصرف این اسیدهای چرب در رژیم‌های غذایی امروزی ناکافی بوده و تلاش گسترده‌ای در حال انجام است تا سطح مصرف این اسیدهای چرب امگا-۳ افزایش یابد. طبق توصیه‌ها، نسبت ایده‌ال اسیدهای چرب امگا-۶ به اسیدهای چرب امگا-۳ بایست چهار به یک یا کم‌تر باشد اما با رژیم‌های غذایی امروزی این نسبت حدوداً ۳۰-۲۰ به ۱ است [۲۱۸]. از این رو، ضروری است که راه‌کارهای

ممکن و بالقوه در جهت افزایش محتوای اسید لینولئیک مزدوج، اسیدهای چرب امگا-۳ و سایر ترکیبات زیست فعال مانند اسیدهای چرب فرد کربن و شاخه‌دار در محصول لبنی امن، ارزان و با دسترسی آسان مانند شیر مورد بررسی قرار بگیرد.

تولید و عرضه غذایی با کیفیت خوب برای سلامت و رفاه انسان امری ضروری است. فرآورده‌های لبنی و گوشتی به دست آمده از دام‌های نشخوارکننده منابع مهم و امن مواد مغذی در رژیم غذایی انسان محسوب می‌شوند چرا که تأمین کننده انرژی، پروتئینی با کیفیت بالا، ویتامین‌ها و مواد معدنی ضروری هستند. کیفیت تغذیه‌ای مواد غذایی به طور رو به رشدی در انتخاب آن‌ها توسط مصرف‌کنندگان مورد توجه بوده که این امر بیش‌تر مرهون آگاهی و درک رو به رشد مصرف‌کنندگان در ایجاد ارتباط بین رژیم غذایی و سلامت می‌باشد. برخی از مواد غذایی افزون بر مواد مغذی معمول خود، دارای ریز مغذی‌هائی هستند که اثرات سودمندی از حیث سلامتی عاید مصرف کننده می‌کنند که از این ترکیبات به عنوان غذاهای فرا سودآور یاد می‌شود که تعدادی از آن‌ها در فرآورده‌های تولیدی دام‌های نشخوارکننده یافت می‌شود. از آن جمله می‌توان به اسید لینولئیک مزدوج، اسیدهای چرب امگا-۳ و اسیدهای چرب فرد کربن و شاخه‌دار اشاره کرد [۲۰].

اسید لینولئیک مزدوج به مخلوطی از ایزومرهای موقعیتی و هندسی اسید لینولئیک با سیستم باند دو گانه مزدوج اطلاق می‌شود. وجود ایزومرهای مختلف اسید لینولئیک مزدوج در چربی تولیدی دام‌های نشخوارکننده وابسته به زیست هیدروژنه شدن اسیدهای چرب با چند باند دو گانه در شکمبه است. چربی تولیدی دام‌های نشخوارکننده اشباع‌تر از بیش‌تر روغن‌های گیاهی بوده، که این امر پیامد زیست هیدروژنه شدن اسیدهای چرب با چند باند دو گانه جیره‌ای توسط باکتری‌های شکمبه است. فرآورده‌های غذایی حاصل از دام‌های نشخوارکننده منبع اصلی اسید لینولئیک مزدوج در رژیم غذایی انسان محسوب می‌شوند [۲۰]. این ترکیب در چربی شیر و عضله وجود داشته، به طوری که در ایالات متحده فرآورده‌های لبنی و گوشتی به ترتیب حدود ۷۰ و ۲۵ درصد از اسید لینولئیک مزدوج مصرفی شهروندان را به خود اختصاص می‌دهند [۱۹۸]. با توجه به خواص اشاره شده برای اسید لینولئیک مزدوج توجه رو به رشد مجامع علمی طی دهه گذشته به طور چشم‌گیری برای شناخت خواص بالقوه آن و راه‌کارهای افزایش آن در فرآورده‌های دامی افزایش یافته است. از این رو، نیاز مبرمی برای پژوهش‌های مکمل در این خصوص وجود دارد.

پژوهش‌های متعددی نشان داده‌اند که جیره غذایی مهم‌ترین عامل تغییر دهنده محتوای چربی شیر و الگوی اسیدهای چرب آن مخصوصاً اسید لینولئیک مزدوج می‌باشد، به طوری که با دست‌کاری جیره‌ای می‌توان غلظت آن را تا چندین برابر افزایش داد [۵۰ و ۱۴۴]. کلید افزایش اسید لینولئیک مزدوج شیر، ازدیاد خروج اسید واسنیک از شکمبه است که این امر امکان ساخت پستانی آن را بیش‌تر فراهم می‌آورد. بیشینه کردن خروج شکمبه‌ای اسید واسنیک از دو راه امکان پذیر است: الف) با افزایش فراهمی اسیدهای چرب با

چند باند دو گانه مانند اسیدهای چرب غیر اشباع ۱۸ کربنه (اسید لینولئیک و آلفا-اسید لینولنیک) و یا اسیدهای چرب غیر اشباع بلند زنجیرتر مثل روغن ماهی و جلبک دریائی که غنی از ایکوزا پنتا انوئیک اسید و دکوزا هگزا انوئیک اسید هستند. ب) مهار احیاء اسید واسنیک به اسید استئاریک [۲۰ و ۱۴۴]. اسیدهای چرب *trans*-۱۰ C۱۸:۱ و *trans*-۱۱ C۱۸:۱ واسطه‌های اصلی زیست هیدروژنه‌ای اسیدهای چرب غیر اشباع از دو مسیر متفاوت هستند [۲۰ و ۱۴۴]. غلظت این واسطه‌ها در شکمبه بستگی به وسعت سوخت و ساز اسیدهای چرب غیر اشباع (که با غلظت اولیه آن‌ها در جیره تحت تأثیر قرار می‌گیرد) [۹۱]، نرخ عبور و pH شکمبه دارد [۱۹۲ و ۲۲۸]. نشان داده شده که تغییر در عمل‌کرد شکمبه در نتیجه کاهش pH آن وسعت زیست هیدروژنه شدن اسیدهای چرب با چند باند دو گانه را هم در شرایط آزمایشگاهی [۱۵۴] و هم در شرایط مزرعه‌ای [۱۱۶] کم می‌کند و در نتیجه آن الگوی اسیدهای چرب ترانس تولید شده در شکمبه را تغییر می‌دهد. دانه‌های جو و ذرت دو منبع غله‌ای اصلی در جیره گاوهای شیری بوده، به طوری که تجزیه‌پذیری متفاوتی در شکمبه دارند. از این رو، pH شکمبه و نرخ تجزیه شکمبه‌ای می‌تواند با حساسیت نشاسته به تخمیر تحت تأثیر قرار گرفته [۲۵۷] و در نتیجه آن میزان و نوع واسطه‌های زیست هیدروژنه‌ای را در شکمبه متأثر کند. از این رو، بررسی تأثیرپذیری اسید لینولئیک شیر و سایر ترکیبات زیست فعال از منبع غله و مکمل روغن و اثر متقابل احتمالی بین آن‌ها ضروری به نظر رسیده و هدف اصلی از انجام این رساله می‌باشد. در فصل چهارم با جزئیات کامل به تشریح اهداف این رساله در قالب پژوهش‌های اول و دوم و نیز نتایج به دست آمده از آن‌ها پرداخته شده است.

فصل دوم
بررسی منابع

۲-۱- مقدمه

معمولاً چربی‌ای که در جیره گاوهای شیری وجود دارد، تقریباً بین ۳ تا ۵ درصد از آن را تشکیل می‌دهد. این چربی تقریباً جزئی از تمام اقلام تشکیل دهنده جیره گاوهای شیری از جمله علوفه و دانه‌هاست. به طور معمول، اسیدهای چرب اولئیک (C۱۸:۱) و لینولئیک (C۱۸:۲) در بیش‌تر دانه‌های روغنی مانند کانولا، ذرت و سویا غالب بوده و به صورت تری‌گلیسرید در آن دانه‌ها تجمع می‌کنند. در این بین دانه کتان مستثنی بوده و غنی از اسید لینولنیک (C۱۸:۳) می‌باشد. علف‌ها میزان بالایی از گالاکتولیپید و فسفولیپید را داشته به طوری که اسیدهای چرب لینولئیک و لینولنیک فراوان‌ترین اسیدهای چرب تشکیل دهنده بخش چربی علف‌ها هستند [۸۸].

طی دهه‌های گذشته، پژوهش‌های گسترده‌ای بر روی مکمل‌های چربی در تغذیه گاوهای شیری به انجام رسیده است. تغذیه چربی می‌تواند باعث افزایش تراکم انرژی جیره‌ها شود چرا که چربی نسبت به سایر مواد مغذی از ارزش انرژی‌زائی بیش‌تری برخوردار است. بنابراین، چربی می‌تواند در مواقعی که محدودیت فراهمی انرژی در جیره گاوهای شیری پر تولید وجود دارد، مورد استفاده قرار بگیرد بدون این که میزان الیاف نامحلول در شوینده خنثی جیره کم شود [۴۷، ۱۱۹ و ۱۲۱]. از دیگر مزایای تغذیه چربی می‌توان به

افزایش جذب ویتامین‌های محلول در چربی اشاره کرد [۱۷۳]. هم‌چنین، با تغذیه چربی حرارت کم‌تری تولید می‌شود چون اسیدهای چرب بلند زنجیر جیره در شکمبه تخمیر نمی‌شوند [۲۲۲]. بنابراین، تغذیه چربی باعث کاهش حرارت افزایشی می‌شود [۱۷۳]. در صورتی که مکمل چربی به صورت مایع باشد، به هنگام مخلوط کردن آن با بخش کنسانتره‌ای جیره از گرد و غبار و جدا شدن ذرات برخی مواد خوراکی که ریز آسیاب شده‌اند، جلوگیری می‌نماید.

بر اساس توصیه‌های انجمن پژوهش‌های ملی کشور آمریکا [۱۷۳] تا ۴ درصد ماده خشک می‌توان در جیره گاوهای شیری از مکمل چربی استفاده کرد، به طوری که کل چربی جیره نباید از ۷ درصد تجاوز نماید (با علم به این که حدود ۳ درصد چربی (بر اساس ماده خشک) جیره از دانه‌های غلات و علوفه تأمین می‌شود). اگر چربی جیره به بیش از ۷ درصد برسد، می‌تواند تأثیرات منفی بر عملکرد گاوهای شیری از جنبه‌های مختلفی مانند کاهش ماده خشک مصرفی، کاهش گوارش شکمبه‌ای الیاف، کاهش گوارش‌پذیری کلسیم و منیزیم با شکل‌گیری صابون‌های نامحلول و کاهش چربی شیر داشته باشد.

مکمل‌های چربی که در تغذیه گاوهای شیری مورد استفاده قرار می‌گیرند، به دو گروه چربی‌های طبیعی (که شامل روغن‌های گیاهی، دانه‌های روغنی و چربی‌های حیوانی هستند) و چربی‌های که تغییراتی بر روی آن‌ها انجام شده تا در شکمبه بیش‌تر خنثی باشند و معروف به چربی‌های خنثی در شکمبه هستند (شامل نمک‌های کلسیمی اسیدهای چرب و چربی‌های هیدروژنه شده)، تقسیم‌بندی می‌شوند.

پاسخ عملکردی گاوهای شیری به مکمل چربی می‌تواند با ترکیب لیپیدی آن، سطح افزودن مکمل، جیره پایه، مرحله شیردهی و روش‌های مدیریتی تحت تأثیر قرار بگیرد [۱۷۳]. تفاوت بین مکمل‌های چربی می‌تواند ناشی از تفاوت در الگوی اسیدهای چرب، طول زنجیر اسیدهای چرب، شکل پوشش‌دار کردن اسیدهای چرب و نهایتاً درجه غیر اشباعیت آن‌ها باشد. بر این اساس، نتایج به دست آمده از یک مکمل چربی نمی‌تواند به تمامی مکمل‌های چربی تعمیم داده شود.

۲-۲- تجزیه لیپیدی در شکمبه و زیست هیدروژنه شدن

هر میلی‌لیتر مایع شکم حاوی $۱۰^{۱۰}$ باکتری، $۱۰^{۷}$ پروتوزوآ و $۱۰^{۶}$ قارچ و مخمر است. دمای محیط شکمبه بین ۳۸ الی ۳۹ درجه سانتی‌گراد، دامنه طبیعی pH آن بین ۶ الی ۶/۷ و نیز پتانسیل اکسیداسیون-احیاء آن بین ۱۵۰- تا ۳۵۰+ میلی‌ولت می‌باشد. هر گونه انحراف از این شرایط ذکر شده باعث تغییر در جمعیت میکروبی و در نتیجه تغییر در محصولات نهائی حاصل از تخمیر خواهد شد. زمانی که خوراک در محیط شکمبه قرار می‌گیرد، مقدار جزئی از اسیدهای چرب جیره جذب شده و پس از تجزیه تبدیل به اسیدهای چرب فرار یا دی اکسید کربن می‌شوند. با این وجود، میکروارگانیزم‌ها قادرند مقادیر چشم‌گیری از اسیدهای چرب را به

شکل درون‌زاد از پیش‌سازهای کربوهیدراتی بسازند و نیز اسیدهای چرب غیر اشباع را هیدروژنه کنند. بنابراین، اسیدهای چربی که به روده می‌رسند هم منشاء میکروبی و هم منشاء باکتریائی دارند [۳۷]. در دهه‌های اخیر، پژوهشگران زیادی [۸۷، ۱۰۷ و ۱۸۲] سرنوشت لیپیدهای استریفیه شده جیره‌ای را در زمان تخمیر در شکمبه بررسی کرده و دو فرآیند اصلی (تجزیه لیپیدی و زیست هیدروژنه شدن) که این لیپیدها با آن درگیر هستند، پیشنهاد دادند. این فعالیت میکروبی منجر به فراهمی اسیدهای چرب بلند زنجیر به عنوان مخزنی برای ساخته شدن ایزومرهای اسید لینولئیک مزدوج، اسید لینولنیک مزدوج و سایر واسطه‌های زیست هیدروژنه‌ای می‌شود. با این که برخی از این ایزومرها در غلظت‌های کم در مایع شکمبه یافت می‌شوند، اما در بافت چربی و در چربی شیر تجمع می‌یابند [۸ و ۶۳].

۲-۲-۱- تجزیه لیپیدی در شکمبه

تفاوت‌های اساسی بین نشخوارکنندگان و غیر نشخوارکنندگان در فرآیند گوارش‌پذیری چربی وجود دارد. اسیدهای چرب موجود در جیره که از منشاء مواد خوراکی یا مکمل چربی هستند عمدتاً به صورت اسیدهای چرب بلند زنجیر استریفیه شده بوده و بعد از مصرف خوراک به سرعت و به طور وسیعی توسط باکتری‌های تجزیه کننده لیپید آبکافت می‌شوند [۹۷]. در اثر فرآیند تجزیه لیپیدی اسیدهای چرب آزاد از استرهایشان رهش پیدا کرده و امکان زیست هیدروژنه شدن (احیاء تعدادی از باندهای دوگانه موجود بر روی زنجیر کربنی اسیدهای چرب) برای آن‌ها فراهم می‌شود. از آن جایی که زیست هیدروژنه شدن تنها زمانی اتفاق می‌افتدکه گروه کربوکسیل آزاد (یعنی اسید چرب با گروه کربوکسیل آزاد) وجود داشته باشد، از این رو تجزیه لیپیدی گامی ضروری در زیست هیدروژنه شدن به شمار می‌رود. این که مقادیر کمی از اسیدهای چرب با چند پیوند دوگانه جیره در دئودنوم ظاهر می‌شود به این خاطر است که تا حدی فرآیند تجزیه لیپیدی به طور کامل انجام نگرفته و یا این که اسید چرب از هیدروژنه شدن شکمبه‌ای به هر عنوان فرار کرده است. این سری از واکنش‌ها به این خاطر توسط میکروارگانیزم‌ها در شکمبه به کار گرفته می‌شوند تا خودشان را از اثرات سمی اسیدهای چرب غیر اشباع وا رهند [۵۹].

پس از بلع خوراک، لیپیدهای استریفیه شده موجود در جیره در اثر آبکافت توسط لیپازهای میکروبی (آنزیم‌های خارج سلولی بسته‌بندی شده در اندازه‌های کوچک) به اسیدهای چرب، گلیسرول و نیز در مقادیر کم به مونو- و دی‌گلیسرید تبدیل می‌شوند [۱۰۷]. به طور طبیعی نرخ آبکافت بالاست ولی می‌تواند با سطح مکمل چربی در جیره، pH شکمبه و آیونفرها که گونه‌های خاص باکتریائی را مهار می‌کنند تحت تأثیر قرار بگیرد [۹۰]. تعداد میکروارگانیزم‌هایی که قادرند عمل آبکافت استرها را انجام بدهند، کم بوده به طوری که فعالیت آن‌ها در این خصوص بسیار اختصاصی می‌باشد [۷۳ و ۹۹]. هفت باکتری تجزیه کننده لیپید که بی‌هوازی اجباری هستند، شناسایی شده‌اند که از آن جمله می‌توان به باکتری *Anaerovibrio lipolytica*،