شرکت مرغ نوجان

تامین مواد اولیه و ضروری خوراک دام و طیور

MorgheNojan.Com Info@MorgheNojan.Com ۰۲۶ - ۳۴۳۹۰۳۵۱ - ۶

گروه علمی شرکت مرغ نوجان

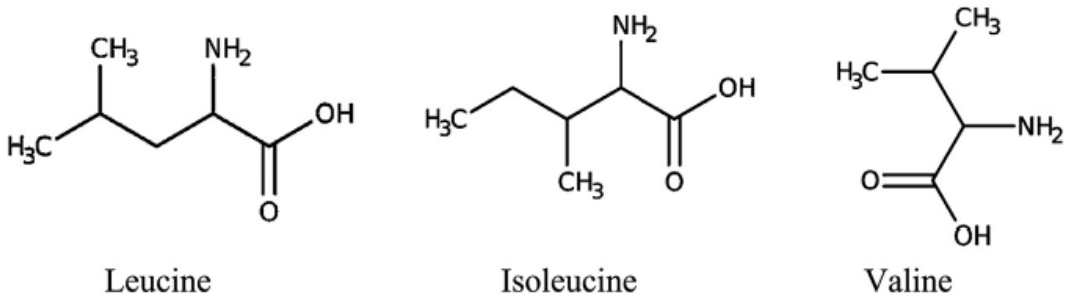
مقاله مروری: نقش عملکردی اسیدآمینه‌های شاخه‌دار در طیور

چکیده:

این مقاله مروری ، اثرات اسیدآمینه‌های شاخه دار (لوسین، ایزولوسین و والین) بر روی رشد، عملکرد تولیدی، ایمنی و سلامت دستگاه گوارش طیور را توضیح می‌دهد. علاوه بر تامین سوبستراهای نیتروژن و اسکلت کربنی برای هموستازی انرژی و انتقال گروه آمینی، اسیدآمینه‌های شاخه‌دار همچنین به عنوان مولکول های پیام دهنده در تنظیم سنتز گلوکز، چربی و پروتئین از طریق مسیر پیام رسان (AKT-mTOR) که در رشد ماهیچه اهمیت دارد، نقش دارند. میزان لوسین معمولا در غلات بالاست و عدم تعادل بین سه اسیدآمینه شاخه‌دار در جیره‌های کم‌پروتئین یک اثر منفی بر روی عملکرد رشد طیور ایجاد می کند این ناشی از تشابه ساختاری این سه اسیدآمینه شاخه دار است، که باعث رقابت متابولیکی و تداخل در مسیر تجزیه آنزیمی می‌شود. شواهد نشان می‌دهندکه افزودن اسیدآمینه‌های شاخه‌دار برای عملکرد مناسب سیستم ایمنی طبیعی و حفظ بافت مخاطی دستگاه گوارش ، ضروری است. سطوح پیشنهادی اسیدآمینه‌های شاخه‌دار برای طیور توسط NRC(1994) توصیه شده است، اما استانداردهای سویه‌های مرغان گوشتی و تخمگذار تعیین کننده سطح توصیه این حیوانات می‌باشد. در این مقاله مروری اشاره شده است که نیاز اسیدآمینه‌های شاخه‌دار تحت تاثیر نوع جیره، نژاد، و سن پرنده است. بعلاوه، چندین مطالعه بر روی اثرات اسیدآمینه‌های شاخه‌دار در جیره‌های کم‌پروتئین به عنوان یک راهکار جهت کاهش دفع نیتروژن متمرکز شده‌اند. بطورقابل توجه، تحقیقات اندکی در خصوص افزودن اسیدآمینه‌های شاخه‌دار به شکل مکمل در مقایسه با شکل باندشده در موادخوراکی که بر روی دینامیک مصرف در شرایط مختلف بیماری ، مخصوصا آنهائی که بر روی نسبت عبور مواد هضمی هستند، وجود دارد. بطور خلاصه، این مقاله مروری شامل نقش اسیدآمینه‌های شاخه‌دار به عنوان اسیدآمینه کاربردی و اثرات فیزیولوژیکی بر روی افزایش تولید و سلامت طیور بحث می کند. مشاهدات و استنتاجات حاصل از این مقاله می‌تواند راهنمای مناسبی برای تحقیق بعدی باشد که سطوح توصیه شده اسیدآمینه‌های شاخه‌دار در برنامه‌های غذائی در غیاب آنتی‌بیوتیک‌ها در طیور را بررسی می‌کند.

مقدمه:

طیور برای رشد، تولید تخم‌مرغ، ایمنی، فعالیت آنزیمی، چرخه بافتی و غیره به پروتئین نیاز دارد(Beski *et al*., 2015) . همانند سایر اسیدآمینه‌های ضروری، اسیدآمینه‌های شاخه‌دار نظیر ایزولوسین و والین در جیره‌های حاوی پروتئین پائین مکمل می‌شوند در حالیکه لوسین معمولا به میزان فراوان در جیره برمبناء ذرت یافت می‌شود(NRC, 1994; Waldroup *et al*., 2002) . همچنین انتظار می‌رود یک جیره حاوی پروتئین پائین، مصرف آب را در پرنده ، که باعث دفع بالای نیتروژن و خیسی بستر و ناهنجاری‌های پا می‌شود را کاهش دهد (Francesch and Brufau, 2004; Shepherd and Fairchild, 2010).اما، کاهش در میزان پروتئین خام جیره‌ها هنگامی موثر است که حداقل احتیاجات اسیدآمینه‌های ضروری تامین شده باشد. بعلاوه بایستی اشاره نمود که اسیدآمینه‌های غیرضروری نیز مهم می‌باشند، و سطح پائین چنین اسیدآمینه هائی با سنتز ناکافی توام شده و بر روی وظایف فیزیولوژیکی و عملکرد حیوان تاثیرگذاراست (Hou *et al*., 2015). همچنین سه اسیدآمینه شاخه‌دار (لوسین، ایزولوسین و والین)جزو اسیدآمینه‌های ضروری یا غیرقابل جایگزین محسوب می‌شوند. این سه اسیدآمینه دارای ساختمان مشابه اسیدهای چرب شاخه‌دار بوده و دارای زنجیرجانبی آبگریز می‌باشند. لوسین ، ۲-آمینو-۴-متیل-پنتانوئیک اسید ، ایزولوسین ۲-آمینو- ۳-متیل-پنتانوئیک اسید ، و والین ۲-آمینو-۳-متیل-بوتانوئیک اسید می‌باشد(Adeva- Andany *et al*., 2017; Figure 1).

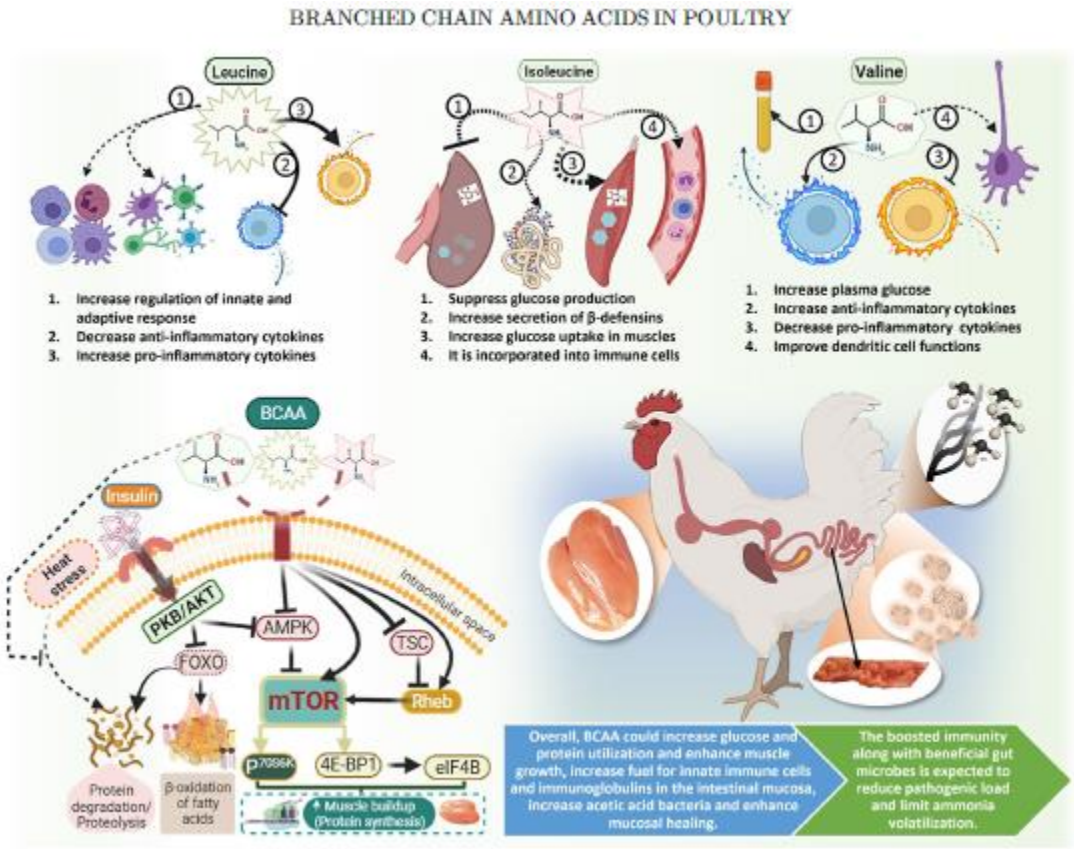


شکل ۱- ساختمان اسیدآمینه‌های شاخه‌دار با زنجیرجانبی آبگریز

برخلاف سایر اسیدآمینه‌های شاخه‌دار، والین در جیره‌های برمبنای ذرت – سویا ، اسیدآمینه محدودکننده است و در پاسخ به افزودن لوسین به جیره، در مقایسه با ایزولوسین به تضاد و تجزیه آنزیمی مستعدتر می‌باشد. بنابراین والین باید به اغلب جیره‌های حاوی پروتئین پائین افزوده شود(Nascimento *et al*., 2016). سه اسیدآمینه شاخه‌دار ساختمان مشابهی دارند و ابتدا توسط آمینوترانسفراز شاخه دار (BCAT) و سپس بوسیله کمپلکس آلفا-کتو اسید دهیدروژناز شاخه دار (BCKD) تجزیه می‌شوند، که سبب تجزیه غیرقابل برگشت ترکیبات کوآنزیم آ می‌شود(Brosnan and Brosnan, 2006) . تحریک این فعالیت آنزیمی توسط یکی از اسیدآمینه‌های شاخه‌دار، اغلب لوسین، باعث تجزیه سایر اسیدآمینه‌های شاخه‌دار می‌شود و بنابراین سطح مازاد یک اسیدامینه شاخه‌دار ممکن است باعث تجزیه و کمبود سایر اسیدآمینه‌های شاخه‌دار در سطح پائین شود.Allen and Baker(1972) مشاهده کردند که سطح بالای لوسین و تا حد کمتری ایزولوسین، رشد جوجه‌ها و مصرف سایر اسیدآمینه‌ها را کاهش داد ، درحالیکه افزودن والین تاثیر عمده‌ای بر روی مصرف لوسین و ایزولوسین نداشت. مواد خوراکی موجود درجیره‌های غذائی طیور دارای سطوح نامناسب لوسین درمقایسه با سایر اسیدآمینه‌های شاخه‌دارهستند (Ospina -Rojas *et al*.,2020) هنگامی که جیره‌های کم‌پروتئین با کاهش منبع پروتئینی و افزایش غلاتی که دارای لوسین بالائی هستند، فرموله می‌شوند، احتمال بروز اثرات

آنتاگونیستی لوسین به سایر اسیدآمینه‌های شاخه‌دار افزایش می‌یابد. سطح بالای لوسین همراه با عدم توازن سایر اسیدآمینه‌ها می‌تواند باعث تجزیه اسیدآمینه و عدم رشد ماهیچه در طیور شود. درنظر گرفتن حداقل احتیاجات برای یک اسیدآمینه شاخه‌دار، با نسبت بهینه آنها در جیره کم‌پروتئین ممکن است نسبت مناسبی در جیره با پروتئین بالا یا جیره با پروتئین کافی نباشد. یک جیره با پروتئین بالا ممکن است در ابتدای مرحله رشد پرنده باعث شود پرنده بهتر مصرف کند و این باعث تامین مقدار بالائی از اسیدآمینه محدودکننده می‌شود. این ممکن است از بروز مشکلات مرتبط با کمبود اسیدآمینه جلوگیری کند، اما این سطح پروتئین بالا ممکن است مصرف مناسب اسیدآمینه‌های شاخه‌دار در مقادیر کم یا سایر اسیدآمینه‌های مازاد را تامین نکند. عدم توازن در اسیدآمینه‌های شاخه‌دار که باعث تاثیر منفی بر روی عملکرد مرغان گوشتی شده، توسط محققین گزارش شده است(Ospina -Rojas *et al.*,2020)، اما سطح بالای لوسین ممکن است اثرات مخرب تضاد سایر اسیدآمینه‌های شاخه‌دار در هنگامی که یک سطح مناسب پروتئین خام با تامین حداقل نیاز ایزولوسین و والین وجود داشته باشد، را نشان ندهد (Waldroup *et al.*,2002).

در یک مطالعه بر روی مرغان گوشتی، Konashi *et al.* (2000) دریافتند که ۵۰٪ کمبود در هر یک از ۳ اسیدآمینه شاخه‌دار باعث کاهش وزن بدن پرندگان در سن ۲۴ روزگی به میزان یک چهارم در مقایسه با تیمار کنترل شد، درحالیکه پرندگانی که از جیره حاوی ۵۰٪ کمبود اسیدآمینه‌های حاوی گوگرد دار تغذیه شده بودند تقریبا کاهش وزنی معادل یک سوم داشتند. همچنین محقیقن گزارش دادند وزن تیموس و بورس فابریسیوس بطور معنی‌داری در جیره حاوی سطح پائین اسیدآمینه‌های شاخه‌دار نسبت به جیره کنترل کاهش یافت، که این موضوع دلالت دارد بر نقش حیاتی این اسیدآمینه‌ها در توسعه اندام لمفوئیدی و پاسخ ایمنی در جوجه‌های گوشتی. اسیدآمینه‌های شاخه دار، علاوه بر حضور در مسیرهای مختلف متابولیکی، باعث تنظیم بیان ژن و انتقال پیام برای ساخت پروتئین می‌شوند(Efeyan *et al.*,2012;Bai *et al.*,2015). ترکیبی از این سه اسیدآمینه شاخه‌دار به عنوان یک سوم از پروتئین ماهیچه به حساب می‌آید و آنها یک نقش حیاتی در پیشگیری از پروتئولیز تحت تنش گرمائی ایفا می‌کنند(Kop-Bozbay and Ocak, 2015)و باعث توسعه و تشکیل ماهیچه می‌شوند. Busquets و همکاران (۲۰۰۰) نتیجه گرفتند که اسیدآمینه‌های شاخه‌دار مانع از پروتئولیز لیزوزومی ماهیچه در دوره کوتاه مدت و احتمالا کاهش پروتئولیز وابسته به ATP در ماهیچه‌های اسکلتی در دوره دراز مدت در موش‌های صحرائی می‌شوند. علاوه بر تاثیر اسیدآمینه‌های شاخه‌دار بر روی ساز و کار پروتئین ماهیچه، همچنین تخلیه آنها باعث افزایش بتا- اکسیداسیون اسیدهای چرب از طریق مسیرAMPK-mTOR-FoxO1 می‌شود(Bai *et al.*,2015) (شکل ۲). گزارش شده که از بین تمام اسیدآمینه‌های شاخه‌دار، لوسین در سنتز پروتئین از طریق مسیر mTOR مستعدتر است و نقش بیشتری در سیستم ایمنی بازی می‌کند(Li *et al.*, 2007; Wu, 2010). علاوه بر نقش افزایش سیستم ایمنی، Mattick و همکاران (۲۰۱۳) گزارش دادند که اسیدآمینه‌های شاخه‌دار با حذف گونه‌های اکسیژن فعال، قادر به کاهش تنش اکسیداتیو می‌باشند.



شکل ۲- وظایف انفرادی و ترکیبی اسیدآمینه‌های شاخه‌دار بر روی عملکرد سالم دستگاه گوارش، و مدل شماتیک مکانیزم فرضی تنظیم مسیر سیگنالی mTOR . ↑، افزایش یا القاء ، ⊥ کاهش یا ممانعت. خطوط نقطه چین نمایانگر مسیرهای مورد انتظار. BCAA اسیدآمینه‌های شاخه‌دار ، mTOR هدف راپامایسین در پستانداران ، AMPK پروتئین کیناز AMPفعال شده، TSC کمپلکس توبروس اسکلروزیس،Rheb رس هومولوگ غنی شده در مغز، FOXO فاکتورهای رونویسی جعبه چنگال، PKB/AKTپروتئین کیناز B، P70S6K فسفو پروتئین ۷۰ پروتئین ریبوزومی S6 کیناز ، 4E-BP1 فاکتور اولیه ترجمه پروتئین ۱ متصل شونده 4E ائوکاریوتیک ، eIFB فاکتور 4B ترجمه اولیه ائوکاریوتیک .

همچنین مصرف موادخوراکی، عملکرد کلی رشد، و وضعیت ایمنی طیور تحت تاثیر جمعیت باکتریائی و سایر میکروارگانیزم‌های مستقر در دستگاه گوارش می‌باشند، که به عنوان میکروبیوتا یا میکروبیوم دستگاه گوارش گفته می‌شوند(Kiarie *et al.*,2013;Singh and Kim,2021). بنابراین، ارزیابی تاثیر اسیدآمینه‌های شاخه‌دار بر روی تنوع میکروبیوتای دستگاه گوارش قبل از اینکه این اسیدآمینه‌ها در جیره مورد استفاده قرار گیرند، ضروری می‌باشد. اما هنوز آنالیز میکروبیوتای دستگاه گوارش یک زمینه مطالعه‌ای در حال تکمیل می‌باشد و اطلاعات محدودی در خصوص نقش اسیدآمینه‌های شاخه‌دار بر روی تنوع جمعیت میکروبی در طیور وجود دارد. تاثیر متقابل جمعیت میکروبی با میزبان و جیره مشخص شده است و با نوع گونه، سن و محل تغییر می‌کند (Pan and Yu,2014). اما برخی تشابهات در رابطه با جمعیت میکروبی و جیره غذائی طیور ، خوک و موش وجود دارد زیرا در این گونه‌ها تخمیر در انتهای روده است و اغلب جمعیت میکروبی بدست آمده ازنظروراثتی درگونه‌های دهنده، قادر به تجمع و تکثیر در حیوانات مورد آزمایش می‌باشند (Turnbaugh *et al.*,2009; Heinritz *et al.*,2013;Kiarie *et al.*,2013).

علاوه بر ۳ اسیدآمینه محدودکننده (متیونین، لیزین و ترئونین) در جیره‌های بر مبنای ذرت و کنجاله سویا در طیور (Ojano-Dirain and Waldroup,2002;Singh *et al.*,2019)، همچنین اسیدآمینه‌های شاخه‌دار هم محدودکننده هستند و بین محققین در خصوص اینکه کدامیک از آنها به عنوان چهارمین اسیدآمینه محدودکننده در جیره‌های طیور در نظر گرفته شود، بحث وجود دارد نتایج تحقیقات قبلی به گونه ای دیگر است و در این خصوص والین یا ایزولوسین را در نظر گرفته‌اند(Kidd *et al.*,2004; Corzo *et al.*,2009,2010). برخی محققین معتقدند که این دو به شکل تواما در ساختار و غلظت پروتئین جیره به عنوان محدودکننده درنظر گرفته شوند(Maynard *et al.*, 2020). به علاوه، احتیاجات اسیدآمینه‌های ضروری و ترکیب آنها در خوراک بر اساس کل یا قابل هضم یا گاهی اوقات نسبت به لیزین، توسط محققین مختلف بیان شده است. قابلیت هضم ایلئومی پروتئین و اسیدآمینه در طیور به شکل قابلیت هضم ایلئومی ظاهری(AID) یا قابلیت هضم ایلئومی استاندارد(SID) بیان می‌شود در AID قابلیت هضم اسیدآمینه‌های با منشاء داخلی بازیافت شده در محتوای ایلئوم در نظر گرفته نمی‌شود در حالیکه در SID افت با منشاء داخلی به عنوان تصحیح برآورد می‌شود (Erdaw et al.,2017). چون قابلیت هضم اسیدآمینه بر اساس ساختار جیره متغییر است، شفافیت درصد اسیدآمینه قابل هضم و نسبت آن به لیزین بایستی برای مقایسه نسبت اسیدآمینه، واقعی‌تر باشد، اما چنین اطلاعاتی محدود به تعداد اندکی تحقیق صورت گرفته در طیور می‌باشد. این مقاله مروری مجموعه کاملی از اثرات اسیدآمینه‌های شاخه‌دار بر روی عملکرد، جذب مواد مغذی ، ایمنی، جمعیت میکروبی دستگاه گوارش طیور می‌باشد و احتیاجات اسیدآمینه‌های شاخه‌دار در راهنمای تجاری جوجه‌های گوشتی، مرغان تخمگذار و گله‌های مادر همراه با توصیه‌های آنها توسط NRC(1994) را تهیه نموده است. همچنین این مقاله مروری، براساس اطلاعات موجود درخصوص احتیاجات اسیدآمینه‌های شاخه‌دار فاصله تحقیقات موجود را مشخص کرده و مسیری را برای تحقیقات بعدی تا رسیدن به سطح قابل توصیه اسیدآمینه‌های شاخه‌دار برای شرایط مختلف پرورش فراهم می‌کند.

احتیاجات و نسبت اسیدآمینه‌های شاخه‌دار برای رشد و تولید گوشت جوجه‌های گوشتی

اثرات غلظت‌ها و نسبت‌های مختلف اسیدآمینه‌های شاخه‌دار بر روی عملکرد رشد و تولیدلاشه جوجه‌های گوشتی مورد بررسی قرارگرفت(جدول ۱). مشخصات موادمغذی جوجه‌های گوشتی تجاری‌بطور متناوب با تولید سویه‌های جدید و با تغییر در برنامه خوراک دهی بروزرسانی می شود (Aviagen, 2019; Cobb-Vantress, 2020c)، در حالیکه راهنمای NRC(1994) برای این اسیدآمینه‌ها بر اساس کل و برای مرحله تغذیه ای ۲ الی ۶ هفته می‌باشد(جدول ۲). توصیه اسیدآمینه‌های شاخه‌دار برای طیور بر اساس حداقل نیاز پروتئین خام آنها صورت گرفته است.

اما یک نسبت مناسب اسیدآمینه‌های شاخه‌دار برای مصرف ایده‌آل مورد نیاز است، به عبارتی مقدار مازاد اسیدآمینه‌های شاخه‌دار نسبت به اسیدآمینه محدودکننده بایستی دی‌آمینه شده و برای انرژی مورد استفاده قرار گیرد تا اینکه برای ساخت پروتئین بکار گرفته شود. Chen و همکاران(۲۰۱۶) گزارش دادندکه افزایش لوسین از ۱/۸۸٪ به ۲/۷۳٪ جیره با مقدار ثابت ایزولوسین به میزان ۵۹٪ لوسین و مقدار ثابت والین به میزان ۶۹٪ لوسین در جیره باعث افزایش وزن بدن جوجه‌های گوشتی به میزان ۴۵٪ و بهبود خوراک مصرفی، راندمان غذائی و وزن عضله سینه در دوره ۲۰ روزه مطالعه آنها گردید. Lee و همکاران (۲۰۲۰) جوجه‌های گوشتی را از صفر تا ۴۸ روزگی با اسیدآمینه‌های شاخه‌دار (ال-والین و ال-ایزولوسین)به جیره حاوی کنجاله بادام زمینی و پودر پروتئین حیوانی مکمل نمودند بطوریکه همانند نسبت‌های جیره بر مبناء ذرت- کنجاله سویا بود (والین ۷۸-۷۵٪ لیزین، ایزولوسین۶۹-۶۷٪ لیزین). این مکمل BCAA در جیره‌ای که پروتئین خام آن به میزان ۱/۶۲٪ کاهش یافته باشد باعث حفظ وزن بدن و ضریب تبدیل غذائی جوجه‌های گوشتی و کاهش میزان نیتروژن بستر به میزان ۸/۵٪ شد. طی کشتار پرندگان مورد مطالعه در گروه حاوی اسیدآمینه‌های شاخه‌دار ، فیله سینه بیشتر، کل گوشت سفید و وزن چربی بالشتک پای بیشتری مشاهده شد(Corzo *et al.*,2009). همچنین این محققین وزن بدن بالاترو افزایش پروتئین تام و آلبومین پلاسما در پاسخ به افزودن فقط ال- والین مشاهده نمودند و بهبود بعدی در این پارامترها در زمانیکه هردوی ال-والین و ال- ایزولوسین تا سطح ۰/۱۵٪ اضافه شد ، مشاهده گردید. افزودن ترکیبات حاوی والین بالا به جیره ضروری است، زیرا جیره با کمبود والین باعث کاهش عملکرد رشد همراه با رشد ناقص پر و پا در مرغ می‌شود(Amirdahri *et al.*, 2020). نیاز والین بایستی قبل از اینکه ایزولوسین مکمل شود، تامین گردد. از این رو والین را می‌توان به عنوان چهارمین اسیدآمینه محدودکننده در مرغانی که از جیره‌های بر مبنای ذرت-کنجاله سویا تغذیه می‌شوند قلمداد نمود(Corzo *et al.*,2009;Berres *et al.*,2010).

Corrent and Bartelt (2011) چندین تحقیق بر روی کاربرد اسیدآمینه در جوجه‌های گوشتی انجام دادند و اعلام نمودند که دراغلب گزارشات میزان نسبی ایزولوسین ۷۰٪ تا ۸۰٪ لیزین و میزان والین حدود۸۰٪ لیزین بوده است. همچنین این محققین اعلام نمودند که نسبت لوسین به لیزین در اغلب این مطالعات متغییر بود، اما در مرحله آغازین بیشترین و در مرحله پایانی کمترین بود و اغلب حدود ۱۳۰٪ بود. هنگامیکه Corzo *et al.*(2008) ایزولوسین قابل هضم ایلئومی استاندارد را در جوجه‌های گوشتی سنگین وزن طی سنین ۳۵ الی ۵۴ روزگی از ۰/۷۱ ٪ به ۰/۵۸٪ کاهش داد ، افزایش وزن بدن ۵٪ کاهش و

ضریب تبدیل غذائی ۶٪ افزایش یافت. در این مطالعه افزودن ایزولوسین از ۰/۵۸٪ به ۰/۶۶ ٪ عملکرد ضعیف را بهبود بخشید اما افزودن آرژنین(که دارای معادل پروتئین بالائی است) به جیره حاوی مقدار پائین ایزولوسین اثر معکوسی بر روی افت عملکرد نداشت، این موضوع نشان داد که ایزولوسین، خاص است و وابسته به نیتروژن غیرپروتئینی نیست. بنابراین، محققین فوق نتیجه گرفتندکه افزودن ایزولوسین قابل هضم ایلئومی بیشتر از سطح حاشیه تئوری ۰/۵۸٪ در جیره حاوی ذرت- کنجاله سویا که ۲٪ در آن پودر گوشت و استخوان وجود داشته باشد، ضروری است. در مطالعه‌ای که بر روی جوجه‌های گوشتی انجام شد،

جدول ۱- خلاصه‌ای از سطوح مختلف جایگزینی و اثرات اسیدآمینه‌های شاخه‌دار در طیور در آزمایشات مختلف اولیه تا نیمه دهه اخیر.

BCAA level, basis, and design	Poultry age and type, diet type, energy level, and crude protein level	Performance response (FI, ADG, FCR, Digestibility, Egg production, meat yield)	Other physiological responses	References
BCAA: Val (65, 75 and 85 %), Ile (58, 66 and 74%), Leu (110, 130 and 150%) **Basis:** Digestible, lysine 100% **Design:** 3 level (-1, 0, +1), 3 factor Box-Behnken	**Age:** 22–35 d **Poultry:** Male & female; Lohman Indian River broilers **Diet:** Corn, SBM, peanut meal; Crumbled pellet **ME:** 3,100 kcal/kg **CP:** 18.13–19.46%	**↔Val, ↓Ile, Leu in female:** ↑BWG[a], ↓FCR[a] **↑Val** (Female: ↑ breast meat[a]) **↑Ile, ↓Val, Leu** (Male: ↑Carcass[b]) **↑Ile** (F: ↑breast meat[a])		(Kidd et al., 2021)
BCAA: Leu: Ile: Val (0:0:0; or 1:0.25:0.25; or 1:0.25:0.75) **Basis:** Total, per kg diet **Design:** 2 × 3 factorial CRD	**Age:** 1–42 d **Poultry:** Mixed sex Ross 308 **Diet:** Corn, SBM; BCAA added in low CP diet; Mash **ME:** St: 3,050 kcal/kg Gr: 3,200 kcal/kg **CP:** St: 22% vs 20%, Gr:20%	**BCAA:** ↔ (BW, FCR, carcass) [NS] **BCAA (1:0.25:0.25):** ↓breast yield[a]		(Kop-Bozbay et al., 2021)
BCAA: Val (65, 75, and 85), Ile (58, 66, and 74), Leu (110, 130, and 150) **Basis:** Digestible, lysine 100% **Design:** Box-Behnken design	**Age:** 15–34 d **Poultry:** Male Cobb MV × 500 fast feathering broilers **Diet:** Corn, SBM, peanut meal **ME:** 12.97 MJ/kg **CP:** 18.1%	**↑Leu:** ↑FCR[NS] **↑Ile × ↓Val:** ↓FCR[a] **↓Ile × ↑Val:** ↓FCR[a]		(Maynard et al., 2021)
BCAA: Leu (ED-7: 34.5 μmol/ 500 μl per egg in yolk sac) **Basis:** Amount per egg **Design:** In ovo, heat challenge	**Age:** 29–44 d **Poultry:** Chunky broiler, post hatch male **Diet:** Commercial **ME:** 3,100 kcal/kg **CP:** 22%	↑BWG in chronic heat stress[a]	↑Leu, Ile in liver ↓Leu, Ile in plasma	(Han et al., 2020)
BCAA: 0 or 2 g blend of Leu: Ile: Val (3:1:2) **Basis:** Total per kg **Design:** 2 × 3 Factorial CRD	**Age:** 0–7 d **Poultry:** Turkey (Hybrid Converter) **Diet:** Corn, SBM, fish meal, sunflower meal **ME:** 12 MJ/kg **CP:** 23.94%	**2g BCAA:**↑BW[b], ↑FI of 48 h delayed fed, ↓FI of 72 h delayed fed, ↑proventriculus and gizzard, liver, pancreas, and pectoralis muscle wt[a]		(Kop-Bozbay and Ocak, 2020)
BCAA: Val (75–78%) and Ile (67-69%) **Basis:** Digestible, lysine 100% **Design:** RCBD	**Age:** 0–48 d **Poultry:** Ross 708 broilers **Diet:** Corn, SBM, peanut meal, animal protein blend **ME:** 3,000–3,200 kcal/kg **CP:** 22-24.5%	**Supplemental BCAA:** ↑FI, breast meat, carcass, fat pad[a] ↓nitrogen excretion[a]		(Lee et al., 2020)
BCAA: Ile (66–99%, phase 1 and 2) **Basis:** Digestible, lysine 100% **Design:** CRD	**Age:** Phase1:20–27 wk, Phase 2: 28–46 wk **Poultry:** Shaver white hens **Diet:** Corn, SBM, wheat, DDGS, pork meal **ME:** 2,800 kcal/kg **CP:** 18 &16% vs. 16 &14%	**↑Ile:** ↑hen-day egg production and restored as high CP control[a] **90% Ile** had greater proportion of highest egg wt.[NS]		(Parenteau et al., 2020)

BCAA: Leu (6 mmol/kg) **Basis:** per kg body wt. **Design:** Oral administration	**Age:** 0–7 d **Poultry:** Local broiler **Diet:** Commercial **ME:** 3,050 kcal/kg **CP:** 23.5%		**Encapsulated Leu:** ↑Plasma glutamic oxaloacetic transaminase (GOT)at 4 h	(Erwan et al., 2020)
BCAA: Val (0.70, 0.75, 0.80, 0.85, 0.90, and 0.95%) **Basis:** Digestible, lysine 100% **Design:** CRD	**Age:** 8–21 d **Poultry:** Female Cobb 500 broilers **Diet:** Corn, SBM **ME:** 2,991 kcal/kg **CP:** 19%	**↑Val:** ↑BWG, ↓FCR[a]		(Amirdahri et al., 2020)
BCAA: Val (-0.8%) **Basis:** Digestible, lysine 100% **Design:** Deletion assay	**Age:** 0–14 d **Poultry:** Male and Female Cobb MV × 500 broilers **Diet:** Corn, SBM **ME:** 12.76 MJ/kg **CP:** 20.3 vs. 18.7%	**↓Val:** ↓BWG (−82g) in males[b]		(Maynard et al., 2020)
BCAA: Val (+0.2 to 1.2%) **Basis:** Digestible, per kg **Design:** 2 × 3 Factorial CRD	**Age:** 0–42 d **Poultry:** Ross 308 broilers **Diet:** Corn, SBM **ME:** 2,860 kcal/kg **CP:** 100%, 90% and 85% of (St-21.7%, Gr-20%, Fn-18%)	+↑Val in low CP restored growth in starter and grower phase +↑Val in low CP diet ↑breast muscle[a]	+↑Val in low CP diet ↑VH:CD ratio[a]	(Allameh and Toghyani, 2019)
BCAA: Leu (Ed-7: 35 and 70 μmol/egg) **Basis:** Amount per egg **Design:** In ovo, heat challenge	**Age:** 0-10 d post hatch **Poultry:** Male broilers **Diet:** Commercial **ME:** 12.6 MJ/kg **CP:** 23%	↔ (BWG, FI) [NS]	**↑Leu:** ↓rectal temperature, plasma thyroxine at hatch[a]; ↓rectal temperature in heat stress birds[a]	(Han et al., 2019)
BCAA: Blend Leu: Val: Ile (0.2% BCAA (3:1:2) in 0.9% normal saline in the yolk sac) **Basis:** Amount per egg **Design:** In ovo at Ed-22	**Age:** Ed-24 to hatch **Poultry:** Turkey (Hybrid Converter)	**↑BCAA:** ↓hatchability, embryo wt[a]., ↑BW, breast ms wt at hatch[a]		(Kop−Bozbay and Ocak, 2019)
				(Liu et al., 2018)
BCAA: Leu (10, 20 and 40 mM) **Basis:** Cell culture **Design:** In vitro LPS challenge 0, 0.5, 1 and 2 μg/mL	**Time:** 2h **Poultry:** SPF chicken embryo small intestine		**↑Leu:** ↓SIgA; **40 mM Leu:** restored mTOR and p70s6k phosphorylation, suppressed NF-κB, p38 MAPK and JNK phosphorylation, ↓IL-6[a]	
BCAA: Ile (55,61, 67, 73, and 79%) **Basis:** Digestible, lysine 100% **Design:** CRD	**Age:** 15–35 d **Poultry:** Unsexed meat-type quails **Diet:** Corn, SBM **ME:** 3,050 kcal/kg **CP:** 17.1%	**Ile:** quadratic response on BWG[a], FI ↔ [NS]		(Viana et al., 2017)
BCAA: Leu (1.0, 1.2, 1.4, 1.6, or 1.8%), Val (0.52, 0.67, 0.82, 0.97, or 1.12%) **Basis:** Digestible, per kg **Design:** 5 × 5 factorial CRD	**Age:** 21–42 d **Poultry:** Cobb 500 male broilers **Diet:** Corn, SBM, wheat bran, MBM **ME:** 3,125 kcal/kg **CP:** 16%	**Leu & Val:** quadratic effect on FCR **↑Leu & val:** ↓abdominal fat[a] **1.13 and 1.24% Leu** increased breast ms yield, while **0.71% Val** increased thigh ms yield	**↑Leu:** ↓triglycerides and β-hydroxybutyrate[a]	(Ospina-Rojas et al., 2017)
BCAA: Val (+0.1% (0-21d) to 0.2% (22–42 d) than NRC (1994)) **Basis:** Total, per kg **Design:** CRD	**Age:** 0–42 d **Poultry:** Ross 308 male broilers **Diet:** Corn, SBM, hazelnut kernel meal **ME:** 3,000–3,100 kcal/kg **CP:** 22–20%	**Val:**↔growth parameters [NS]	**Val:**↔spleen and bursa (NS) 1%(+0.1%) **Val:** ↑ thymus development	(Kaplan and Yildiz, 2017)
BCAA: Leu, Ile, Val: (35, 21 and 29 μmol)/500 μL sterile water **Basis:** Amount per egg **Design:** In ovo, Ed-7, heat challenge	**Age:** Ed-7– d 6 **Poultry:** Chunky broiler eggs **Diet:** Commercial **ME:** 12.55 MJ/kg **CP:** 23%	**Leu:** ↑FI, BWG[a] **Ile, Val:** no significant response	**Leu:**↓body temperature at hatch[a]	(Han et al., 2017)
BCAA: Leu(1.16, 1.94, and 2.73%); Ile &Val in the same ratio as the standard **Basis:** Total, per kg **Design:** 2 × 3 factorial, aflatoxin challenge	**Age:** 0–20 d **Poultry:** Ross 708 male broilers **Diet:** Corn, SBM **ME:** 3,184 kcal/kg **CP:** 22.07-22.55%	**↑BCAA:** ↑BWG, FI, G:F, breast ms[a],↓ileal digestibility of nitrogen and 9 AA[a] ↑BCAA: ↑villus height[b]		(Chen et al., 2016)
BCAA: Val (0.77), Ile (0.67) **Basis:** Digestible, lysine coefficient **Design:** RCBD	**Age:** 0–42 d **Poultry:** Cobb 500 male broilers **Diet:** Corn, SBM **ME:** 12.39 MJ/kg **CP:** 18.4 to 22.4%	**Val &Ile** in this ratio maintained competitive growth performance		(Miranda et al., 2015)
BCAA: Val (72 vs. 77%), Ile (63 vs. 69%) **Basis:** Digestible, lysine 100% **Design:** CRD	**Age:** 14–28 d **Poultry:** Cobb 500 female broilers **Diet:** Corn, SBM **ME:** St: 2,900 kcal/kg; Gr: 3,075 kcal/kg **CP:** Gr: 18.7 vs. 20%	**BCCA:**↔growth parameters [NS]	**↓BCAA:** ↓hepatic lipogenic genes[a], ↑hepatic mitochondrial β-oxidation genes[a], ↑phosphorylation of AMPKα[a], ↓phosphorylation of mTOR and P70S6K[a]	(Bai et al., 2015)
BCAA: Leu: Val: Ile (2:1:1) 0.2% in 0.5% saline (2 g/5 g NaCl in either yolk sac or amnion or albumin) on Ed-18 **Basis:** Amount per egg **Design:** In ovo, 3 × 2 factorial	**Age:** 1–56 d **Poultry:** Broiler eggs from Ross × Rhode Island Red breeders **Diet:** Corn, SBM, full fat soybean **ME:** 13.03 MJ/kg **CP:** St:26.28, Gr:22.12, Fn:20.78%	**BCCA, in ovo:** ↔growth performance [NS] **BCAA (in albumin):** ↑gizzard wt. **BCAA (in amnion or yolk sac):** ↓gizzard wt.		(Kop-Bozbay and Ocak, 2015)

BCAA: Leu (10, 20 and 40 mM) **Basis:** Cell culture **Design:** In vitro LPS challenge 0, 0.5, 1 and 2 μg/mL	**Time:** 2h **Poultry:** SPF chicken embryo small intestine		**↑Leu:** ↓SIgA; **40 mM Leu:** restored mTOR and p70s6k phosphorylation, suppressed NF-κB, p38 MAPK and JNK phosphorylation, ↓IL-6[a]	
BCAA: Ile (55,61, 67, 73, and 79%) **Basis:** Digestible, lysine 100% **Design:** CRD	**Age:** 15–35 d **Poultry:** Unsexed meat-type quails **Diet:** Corn, SBM **ME:** 3,050 kcal/kg **CP:** 17.1%	**Ile:** quadratic response on BWG[a], FI ↔[NS]		(Viana et al., 2017)
BCAA: Leu (1.0, 1.2, 1.4, 1.6, or 1.8%), Val (0.52, 0.67, 0.82, 0.97, or 1.12%) **Basis:** Digestible, per kg **Design:** 5 × 5 factorial CRD	**Age:** 21–42 d **Poultry:** Cobb 500 male broilers **Diet:** Corn, SBM, wheat bran, MBM **ME:** 3,125 kcal/kg **CP:** 16%	**Leu & Val:** quadratic effect on FCR **↑Leu & val:** ↓abdominal fat[a] **1.13 and 1.24% Leu** increased breast ms yield, while **0.71% Val** increased thigh ms yield	**↑Leu:** ↓triglycerides and β-hydroxybutyrate[a]	(Ospina-Rojas et al., 2017)
BCAA: Val (+0.1% (0-21d) to 0.2% (22–42 d) than NRC (1994)) **Basis:** Total, per kg **Design:** CRD	**Age:** 0–42 d **Poultry:** Ross 308 male broilers **Diet:** Corn, SBM, hazelnut kernel meal **ME:** 3,000–3,100 kcal/kg **CP:** 22–20%	**Val:**↔growth parameters[NS]	**Val:**↔spleen and bursa (NS) 1%(+0.1%) **Val:** ↑ thymus development	(Kaplan and Yildiz, 2017)
BCAA: Leu, Ile, Val: (35, 21 and 29 μmol) / 500 μL sterile water **Basis:** Amount per egg **Design:** In ovo, Ed-7, heat challenge	**Age:** Ed-7– d 6 **Poultry:** Chunky broiler eggs **Diet:** Commercial **ME:** 12.55 MJ/kg **CP:** 23%	**Leu:** ↑FI, BWG[a] **Ile, Val:** no significant response	**Leu:**↓body temperature at hatch[a]	(Han et al., 2017)
BCAA: Leu(1.16, 1.94, and 2.73%); Ile &Val in the same ratio as the standard **Basis:** Total, per kg **Design:** 2 × 3 factorial, aflatoxin challenge	**Age:** 0–20 d **Poultry:** Ross 708 male broilers **Diet:** Corn, SBM **ME:** 3,184 kcal/kg **CP:** 22.07-22.55%	**↑BCAA:** ↑BWG, FI, G:F, breast ms[a],↓ileal digestibility of nitrogen and 9 AA[a] ↑BCAA: ↑villus height[b]		(Chen et al., 2016)
BCAA: Val (0.77), Ile (0.67) **Basis:** Digestible, lysine coefficient **Design:** RCBD	**Age:** 0–42 d **Poultry:** Cobb 500 male broilers **Diet:** Corn, SBM **ME:** 12.39 MJ/kg **CP:** 18.4 to 22.4%	**VaL &Ile** in this ratio maintained competitive growth performance		(Miranda et al., 2015)
BCAA: Val (72 vs. 77%), Ile (63 vs. 69%) **Basis:** Digestible, lysine 100% **Design:** CRD	**Age:** 14–28 d **Poultry:** Cobb 500 female broilers **Diet:** Corn, SBM **ME:** St: 2,900 kcal/kg; Gr: 3,075 kcal/kg **CP:** Gr: 18.7 vs. 20%	**BCCA:**↔growth parameters[NS]	**↓BCAA:** ↓hepatic lipogenic genes[a], ↑hepatic mitochondrial β-oxidation genes[a], ↑phosphorylation of AMPKα[a], ↓phosphorylation of mTOR and P70S6K[a]	(Bai et al., 2015)
BCAA: Leu: Val: Ile (2:1:1) 0.2% in 0.5% saline (2 g/5 g NaCl in either yolk sac or amnion or albumin) on Ed-18 **Basis:** Amount per egg **Design:** In ovo, 3 × 2 factorial arrangement	**Age:** 1–56 d **Poultry:** Broiler eggs from Ross × Rhode Island Red breeders **Diet:** Corn, SBM, full fat soybean **ME:** 13.03 MJ/kg **CP:** St:26.28, Gr:22.12, Fn:20.78%	**BCCA, in ovo:** ↔growth performance[NS] **BCAA (in albumin):** ↑gizzard wt. **BCAA (in amnion or yolk sac):** ↓gizzard wt.		(Kop-Bozbay and Ocak, 2015)
BCAA: Each BCAA 1% of their level in egg (Ile:2.71 mg, Leu: 4.53 mg, Val: 4.25 mg) dissolved in Dulbecco's PBS making 62, 100 and 85mM, respectively. **Basis:** Amount per egg **Design:** In ovo before incubation	**Age:** Ed: 1–21 **Poultry:** Layer eggs from Single Comb White Leghorn	**Each BCAA:** ↑Embryo wt. **Leu, Val:** ↓hatch time **BCCA:**↔BW at hatch[NS]		(Kita et al., 2015)
BCAA: Val (0, 1, 2, 3, and 4 g) **Basis:** Total, per kg **Design:** CRD	**Age:** 40–47 wk **Poultry:** HyLine Brown layers **Diet:** Corn, SBM, peanut meal, wheat bran **ME:** 11.31 MJ/kg **CP:** 16.16%	**Val:** ↔egg production parameters and FCR[NS] **Val:** quadratic response on FI, high at 2 g/kg	**Val:** quadratic response of serum glucose peaking at 2 g/kg **Val (2 g/kg):** ↑serum triiodothyroxine	(Azzam et al., 2015)

Column3: Underlined texts are treatment conditions and texts without the underline are responses.

↔ Represents no difference. ↑ Represents increased or high or upregulated. ↓ Represents decreased or low or downregulated.

Abbreviations: BCCA, branched-chain amino acids; Leu, leucine; Ile, isoleucine; Val, valine; FI, feed intake; ADG, average daily gain; FCR, feed conversion ratio; BW, body weight; BWG, body weight gain; SBM, soybean meal; DDGS, distillers dried grains with solubles; MBM, meat and bone meal; NS, not significant; ME, metabolizable energy; CP, crude protein, Ed, embryonic day; CRD, completely randomized design; RCBD, randomized block design; St, starter; Gr, grower; d, day; h, hour; wk, week; SPF, Specific-pathogen-free; LPS, lipopolysaccharides; SIgA, secretory immunoglobulin A.

[a]Denotes significant response.

[b]Denotes response with trend.

جدول ۲- توصیه برای مصرف و ترکیب خوراک اسیدآمینه‌های شاخه‌دار برای سویه‌های تجاری و سایر گونه‌های طیور

Poultry	Branched-chain amino acids recommendation by age of birds										References
Cobb 500 broilers	Digest.	0–8 d	9–18 d	19–28 d	>29 d	Digest.	0–8 d	9–18 d	19–28 d	>29 d	(Cobb-Vantress, 2018)
	Val/kg, %	0.89	0.85	0.76	0.73	Ile/kg, %	0.77	0.72	0.67	0.64	
	Val: Lys	73	75	75	75	Ile: Lys	63	64	65	66	
Cobb 700 broilers	Digest.	0–14 d	15–27 d	28–38 d	39–51 d	Digest.	0–14 d	15–27 d	28–38 d	39–51 d	(Cobb-Vantress, 2020c)
	Val/kg, %	0.93	0.87	0.83	0.78	Ile/kg, %	0.83	0.78	0.72	0.68	
	Val: Lys	74	75	77	78	Ile: Lys	66	67	67	68	
Cobb 500 & 700 breeders fast and slow feathering	Digest.		0–28 d	29–105 d		106 d −1 egg	1 egg–266 d		>267 d	Male >168 d	(Cobb-Vantress, 2020a, 2020b)
	Val/kg, %		0.67	0.45		0.47|0.48[b]	0.50| 0.47[a,b]		0.47| 0.45[a,b]	0.38	
	Val: Lys		72	75		75	75		75	75	
	Ile/kg, %		0.64|0.63[b]	0.42		0.44	0.46| 0.44[a,b]		0.44| 0.42[a,b]	0.40	
	Ile: Lys		68	70		70	70		70	80	
Ross 308 and Ross 708 broilers	Digest.	0–10 d	11–24 d	25–39 d	40–46 d	Digest.	0–10 d	11–24 d	25–39 d	40–46 d	(Aviagen, 2019)
	Val/kg, %	0.96	0.87	0.78	0.75	Ile/kg, %	0.86	0.78	0.7	0.66	
	Val/Lys	0.75	0.76	0.76	0.78	Ile/Lys	0.67	0.68	0.69	0.69	
	Leu/kg, %	1.41	1.27	1.12	1.06						
	Leu/Lys	1.10	1.10	1.10	1.10						
Ross 308 breeders fast feathering	Digest.		0–21 d	22–42 d	43–105 d	106 d– 5% eggs	>5% eggs to 224 d	225–350 d	> 351 d	Males >175 d	(Aviagen, 2021)
	Val/kg, %		0.81	0.72	0.6	0.57	0.64	0.6	0.56	0.47	
	Val/Lys		0.81	1.00	1.15	1.16	1.03	1.07	1.08	1.34	
	Leu/kg, %		1.20	1.03	0.82	0.79	0.95	0.90	0.86	0.66	
	Leu/Lys		1.20	1.43	1.58	1.61	1.53	1.61	1.65	1.89	
	Ile/kg, %		0.7	0.58	0.47	0.44	0.52	0.5	0.49	0.41	
	Ile/Lys		0.70	0.81	0.90	0.90	0.84	0.89	0.94	1.17	
Ross 308 breeders slow feathering	Digest.		0–21 d	22–35 d	36–105 d	106 d– 5% eggs	>5% eggs to 245 d	246–350 d	> 351 d	Males (Lay-house)	(Aviagen, 2021)
	Val/kg, %		0.71	0.63	0.44	0.45	0.56	0.53	0.51	0.37	
	Val/Lys		0.75	0.94	0.85	0.87	0.93	0.95	0.98	0.84	
	Leu/kg, %		1.11	0.83	0.69	0.72	0.94	0.9	0.86	0.52	
	Leu/Lys		1.17	1.24	1.33	1.38	1.57	1.61	1.65	1.18	
	Ile/kg, %		0.62	0.55	0.4	0.41	0.5	0.48	0.45	0.34	
	Ile/Lys		0.65	0.82	0.77	0.79	0.83	0.86	0.87	0.77	
Ross 708 breeders	Digest.		0–28 d	29–133 d		134 d to 5% eggs	>5% egg to 280 d	281–350 d	> 351 d	Males >175 d	(Aviagen, 2021)
	Val/kg, %		0.8	0.64		0.6	0.62	0.59	0.58	0.47	
	Val/Lys		0.84	1.05		1.07	1.03	1.04	1.07	1.34	
	Leu/kg, %		1.2	0.84		0.79	0.9	0.86	0.85	0.66	
	Leu/Lys		1.26	1.38		1.41	1.50	1.51	1.57	1.89	
	Ile/kg, %		0.68	0.5		0.45	0.52	0.49	0.47	0.41	
	Ile/Lys		0.72	0.82		0.80	0.87	0.86	0.87	1.17	
Hy-line W-36 layers	Digest.	0–21 d	22–42 d	43–84 d	85–105 d	106– 119 d	120–245 (1st egg to peak−2%), 95 g/d	246–385 (Peak−2% to 90%), 100 g/d	386–504 (89–85%), 100 g/d	505–595 (84–80%), 100 g/d	>596 (<80%), 100 g/d	(Hy-line, 2020)
	Ile/kg, %	0.74	0.71	0.65	0.57	0.62	0.67	0.62	0.59	0.55	0.52	
	Ile/Lys	0.70	0.72	0.74	0.75	0.79	0.80	0.81	0.80	0.79	0.79	
	Val/kg, %	0.76	0.73	0.69	0.61	0.66	0.74	0.68	0.65	0.61	0.57	
	Val/Lys	0.72	0.74	0.78	0.80	0.85	0.88	0.88	0.88	0.87	0.86	
Hy-line W-80 layers	Digest.	0–21 d	22–42 d	43–84 d	85–105 d	106– 119 d	120–259 (1st egg to peak−2%), 103 g/d	260–336 (Peak−2% to 90%), 108 g/d	337–434 (89–85%), 109 g/d	435–532 (84–80%), 108 g/d	>533 (<80%), 107 g/d	(Hy-line, 2019)
	Ile/kg, %	0.72	0.67	0.62	0.51	0.58	0.62	0.57	0.54	0.53	0.52	
	Ile/Lys	0.71	0.71	0.74	0.75	0.78	0.78	0.78	0.77	0.78	0.79	
	Val/kg, %	0.74	0.69	0.66	0.55	0.63	0.7	0.64	0.61	0.59	0.58	
	Val/Lys	0.73	0.73	0.79	0.81	0.85	0.88	0.88	0.87	0.87	0.88	
Hy-line brown layers	Digest.	0–21 d	22–42 d	43–84 d	85–105 d	106– 119 d	120–259 (1st egg to peak−2%), 98 g/d	260–336 (Peak−2% to 90%), 110 g/d	337–434 (89–85%), 110 g/d	435–532 (84–80%), 109 g/d	>533 (<80%), 108 g/d	(Hy-line, 2018)
	Ile/kg, %	0.71	0.66	0.61	0.45	0.56	0.67	0.58	0.57	0.56	0.55	
	Ile/Lys	0.70	0.72	0.74	0.75	0.78	0.80	0.79	0.80	0.80	0.80	
	Val/kg, %	0.73	0.68	0.64	0.48	0.61	0.74	0.64	0.62	0.61	0.6	
	Val/Lys	0.72	0.74	0.78	0.80	0.85	0.88	0.88	0.87	0.87	0.87	
Hy-line brown parents stock	Digest.	0–21 d	22–42 d	43–84 d	85–112 d	113– 126 d	127–252 (1st egg to peak−2%), 103 g/d	253–378 (Peak−2% to 84%), 111 g/d	379–441 (83–77%), 111 g/d	442–525 (<77%), 112 g/d		(Hy-line, 2016)
	Ile/kg, %	0.75	0.63	0.58	0.54	0.61	0.62	0.56	0.54	0.51		
	Ile/Lys	0.70	0.72	0.73	0.75	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78		
	Val/kg, %	0.77	0.65	0.62	0.58	0.66	0.70	0.63	0.61	0.57		
	Val/Lys	0.72	0.74	0.78	0.81	0.85	0.88	0.88	0.88	0.88		
Lohman LSL-Lite /brown lite layers and parent stock			Layers				Parent Stock					(Lohmann-breeders, 2019, 2020)
	Digest.		0–21 d	0–56 d	57–199 d	200–5% eggs	0–21 d	28–56 d	57–126 d	127–5% eggs		
	Val/kg, %		0.78	0.67	0.45	0.62	0.76	0.64	0.46	0.55		
	Val/Lys		78	78	80	88	0.78	0.78	0.84	0.79		
	Ile/kg, %		0.69	0.65	0.43	0.56	0.68	0.62	0.50	0.61		
	Ile/Lys		69	76	76	80	0.69	0.76	0.91	0.87		

Immature Leghorn type chickens		White-egg layer					Brown-egg layer				
	Total	0–6 wks	6–12 wks	12–18 wks	18 wks−1 egg		0–6 wks	6–12 wks	12–18 wks	18 wks−1 egg	
	Ile/kg, %	0.60	0.50	0.40	0.45		0.57	0.47	0.37	0.42	
	Ile/Lys	0.71	0.83	0.89	0.87		0.71	0.84	0.88	0.86	
	Leu/kg, %	1.10	0.85	0.70	0.80		1.00	0.80	0.65	0.75	
	Leu/Lys	1.29	1.42	1.56	1.54		1.25	1.43	1.55	1.53	
	Val/kg, %	0.62	0.52	0.41	0.46		0.59	0.49	0.38	0.43	
	Val/Lys	0.73	0.87	0.91	0.88		0.74	0.88	0.90	0.88	
Turkey, 90% DM- total basis	Male	0–4 wks	4–8 wks	8–12 wks	12–16 wks	16–20 wks	20–24 wks	Breeders			
	Female	0–4 wks	4–8 wks	8–11 wks	11–14 wks	14–17 wks	17–20 wks	Holding		Laying hens	
	Ile/kg, %	1.10	1.00	0.80	0.60	0.50	0.45	0.40		0.50	
	Ile/Lys	0.69	0.67	0.62	0.60	0.63	0.69	0.80		0.83	
	Leu/kg, %	1.90	1.75	1.50	1.25	1.00	0.80	0.50		0.50	
	Leu/Lys	1.19	1.17	1.15	1.25	1.25	1.23	1.00		0.83	
	Val/kg, %	1.20	1.10	0.90	0.80	0.70	0.60	0.50		0.58	
	Val/Lys	0.75	0.73	0.69	0.80	0.88	0.92	1.00		0.97	
Broilers, Pekin ducks, Japanese quail; 90% DM, total basis		Broilers				White Pekin ducks				Japanese quail (Coturnix)	
	Total	0–3 wks	3–6 wks	6–8 wks		0–2 wks	2–7 wks	Breeding		Starter + grower	Breeding
	Ile/kg, %	0.80	0.73	0.62		0.63	0.46	0.38		0.98	0.90
	Ile/Lys	0.73	0.73	0.73		0.70	0.71	0.63		0.75	0.90
	Leu/kg, %	1.20	1.09	0.93		1.26	0.91	0.76		1.69	1.42
	Leu/Lys	1.09	1.09	1.09		1.40	1.40	1.27		1.30	1.42
	Val/kg, %	0.90	0.82	0.70		0.78	0.56	0.47		0.95	0.92
	Val/Lys	0.82	0.82	0.82		0.87	0.86	0.78		0.73	0.92

Poultry	Branched-chain amino acids recommendation by age of birds				References
Other research recommendations	Poultry	Basis and BCAA	Age	Requirement	References
	Shaver White	Digestible, Ile/Lys, %	20–46 wk	82-88	(Parenteau et al., 2020)
	Female Cobb 500	Digestible, Val/Lys	3 wk	0.78	(Amirdahri et al., 2020)
	Unsexed meat-type quails	Digestible, Ile/Lys, %	2–5 wk	67	(Viana et al., 2017)
	Cobb 500 male broilers	Digestible, Leu /kg, %	3–6 wk	0.86 & 1.15	(Ospina-Rojas et al., 2017)
		Digestible, Val/kg, %	3–6wk	0.86&1.19	
	Ross 308 male broiler	Total, Val/kg, %	1–3 wk	1%	(Kaplan and Yildiz, 2017)
			3–6wk	0.82%	
	Male Cobb700 broilers	Digestible, Val/kg, %	0–8 d	1.028	(Nascimento et al., 2016)
			9–21 d	0.905	
			22–42 d	0.853	
			Breast ms (22–42 d)	0.826	

Abbreviations: BCCA, branched-chain amino acids; Digest., digestible; Ile, isoleucine; Lys, lysine; Leu, leucine; Val, valine
[a]Cobb 500 slow feathering.
[b]Cobb 700 fast and slow feathering; wks, weeks; d, days; ms, muscle.

جیره‌های مورد آزمایش در مرحله پایانی (۲۸ الی ۴۲ روزگی) مورد تغذیه قرار گرفتند، کنترل منفی با کاهش سطح ایزولوسین و والین به میزان یک گرم در کیلوگرم برای هرکدام باعث افت افزایش وزن گردید اما هنگامیکه والین و ایزولوسین افزوده شدند افزایش وزن بهبود یافت، ولی افزایش وزن روزانه به والین بهتر پاسخ داد(Corzo *et al.*,2010). اما، تولید سینه نسبت به ایزولوسین بیشتر پاسخ داد، درحالیکه نسبت افزایش وزن به خوراک و کاهش چربی محوطه بطنی به ترکیبی از ایزولوسین و والین پاسخ بهتری داد. همچنین تولید گوشت سینه در جوجه‌های گوشتی نر تلاقی راس× هوبارد در پاسخ به کمبود جیره‌ای ایزولوسین کاهش می‌یابد(Kidd et al.,2000)، که نشان می‌دهد ایزولوسین برای تنظیم ترکیب بدن و تولید گوشت جوجه‌های گوشتی مهم می‌باشد. Corzo *et al.*(2004) گزارش داد که افزودن ۰/۷۳٪ والین در جوجه‌های نر تلاقی راس × راس ۳۰۸ در طی دوره ۵۶ روز آزمایش برای رشد و وزن لاشه بهینه بود. مکمل کردن ۵۰٪ بیشتر ایزولوسین در یک جیره‌ای که کمبود ایزولوسین داشت(۰/۵۱٪ ایزولوسین) در سن ۳ الی ۸ هفتگی جوجه‌های گوشتی ، عملکرد رشد مشابهی با جیره کنترل مثبت حاوی اسیدآمینه تنظیم شده با کنجاله سویا و سلول‌های خونی، داشت(Kidd et al.,2004). همچنین گزارش شده که یک جیره با سطح ایزولوسین پائین(۰/۶۴٪) باعث کاهش عملکرد رشد و افت راندمان غذائی خروس‌های جوان(پترسون × هوبارد) که از روز صفر الی ۱۶ پرورش داده شده بودند، گردید، حتی هنگامیکه سایر اسیدآمینه‌ها به میزان ۵٪ افزوده شد(به استثناء آرژنین و لیزین) (Park and Austic,2000). این محققین بوسیله روش رگرسیون تعیین نمودند که نیاز ایزولوسین بین ۰/۶۳٪ و ۰/۶۵٪ جیره (۳/۳۸ – ۳/۲۸ درصد پروتئین خام) می‌باشد. آنها اشاره کردند که با افزودن سایر اسیدآمینه‌ها در مقادیر زیاد به استثناء مکمل کردن آرژنین و لیزین در جیره ، عدم توازن ایزولوسین شدیدتر می‌شود. درصد ایزولوسین به لیزین AID بطور ایده‌آل حدود ۶۶٪ برای ۷ الی ۲۱ روزگی و ۶۸٪ برای ۳۰ الی ۴۳ روزگی در جوجه‌های گوشتی نر کاب بود، و پاسخ افزودن ایزولوسین در مرحله آغازین در مطالعه (Tavernari *et al.*,2012) درجه دو بود. بنابراین، سطح مناسب افزودن و نسبت‌های ایده‌آل ایزولوسین به اسیدآمینه دیگر، ترجیحا سایر اسیدآمینه‌های شاخه‌دار و لیزین، جهت عملکرد بهتر و تولید خوب گوشت سینه در پرندگان گوشتی مورد نیاز است، حتی بعد از اینکه نیازهای اسیدآمینه محدودکننده اصلی تامین شود. همچنین نیاز به والین و ایزولوسین به وابستگی متقابل این دو ارتباط دارد، اما سطح بهینه آنها اغلب تحت تاثیر میزان لوسین جیره است.

از بین اسیدآمینه‌های شاخه‌دار، لوسین بطور ویژه به عنوان محرک ساخت پروتئین شناخته شده است(Deng *et al.*, 2014; Bai *et al.*,2015) ، اما لوسین اضافه می‌تواند باعث کاهش میزان ایزولوسین و والین پلاسما شود، لذا مقدار مناسب لوسین جیره بایستی بر اساس اجزاء خوراک تعیین گردد. در مطالعه Erwan و همکاران (۲۰۰۸) ، افزودن ۰/۵٪ لوسین به جیره غذائی جوجه‌های گوشتی تحت آزمایش در سنین ۳ الی ۶ هفتگی ، افزایش وزن لاشه به میزان ۹٪ مشاهده گردید، و در آزمایشی دیگر افزودن سطح مشابه لوسین در همین سن، کاهش ذخیره چربی را به همراه داشت(Erwan *et al.*,2011). اخیرا در مطالعه‌ای، تغذیه لوسین کپسوله شده به شکل حبه خوراکی(۶ میلی مول در هر میلی لیتر به ازای یک کیلوگرم وزن بدن) در جوجه‌های گوشتی با سن ۷ روزگی، باعث کاهش والین و ایزولوسین پلاسمای خون شد(Erwan *et al.*,2020). بعلاوه، تغذیه ۳/۰۶٪ لوسین برای ۷ روز اول زندگی جوجه‌های گوشتی که سطوح پائین ایزولوسین و والین(تقریبا هر کدام ۰/۸٪) را دریافت کرده بودند باعث کاهش عملکرد رشد شد، درحالیکه افزایش سطح ایزولوسین و والین جیره (تقریبا ۱/۲٪) شاخص‌های تولیدی را به حالت اول برگرداند، که این موضوع به اثر سمی لوسین در جیره با پروتئین پائین با نسبت‌های نامتوازن اسیدآمینه‌های شاخه‌دار اشاره دارد(Farran *et al.*,2003). تضاد بین این اسیدآمینه‌های شاخه‌دار در مرغ تائید شده است (Smith and Austic,1978). در مطالعه‌ای که سه دهه قبل (۱۹۹۰) بر روی جوجه‌های گوشتی با سن ۳ هفته توسط Farran and Thomas صورت گرفت ، مشاهده شد که تغذیه پروتئین خام پائین (۱۸/۴ ٪) یا بالا (۲۰/۶ ٪) در جیره‌هائی که حاوی مقادیر اسیدآمینه‌های ضروری باشند، تاثیری بر روی عملکرد ندارد. محققین نتیجه‌گیری نمودند که افزودن لوسین، ایزولوسین و والین، به ترتیب ۱/۱۶ ، ۰/۸۰ ، و ۰/۹۰ درصد، در جیره با انرژی قابل متابولیسم ۳۲۰۰ کیلوکالری در هر کیلوگرم ، بهترین عملکرد رشد را برای پرندگان با سن ۳ هفته خواهد داشت. در این مطالعه، فقط ۴ تکرار برای هر تیمار مورد استفاده قرار گرفت، بنابراین قدرت آماری پائین، اما آن مسیر بهتری را برای عملکرد رشد بهتر جوجه‌ها حتی در جیره‌های کم‌پروتئین فراهم می‌کند. مکمل‌کردن لوسین به میزان ۱/۵ برابر بیشتر(۱/۶۳۵ ٪) همراه با ۱/۵ برابر بیشتر ایزولوسین (۱/۰۹۵ ٪) و والین(۱/۲۳٪) در جوجه‌های گوشتی از سن ۱۸ الی ۲۸ روزگی در مطالعه Imanari و همکاران (۲۰۰۸) باعث افزایش گلوتامات آزاد (جزء فعال طعم در گوشت)در سوپ گوشت تا ۳۰٪ و افزایش امتیاز میزان طعم در گوشت طی ارزیابی حسی گردید. در مطالعه اخیر Kidd و همکاران (۲۰۲۱) ، افزایش لوسین در جیره جوجه‌های گوشتی ماده Lohman Indian River عملکرد رشد را کاهش داد که فقط با افزایش سطح ایزولوسین جیره جبران شد، اشاره به این موضوع که این ماده‌ها به تغییرات نسبت اسیدآمینه‌های شاخه‌دار جیره حساس هستند. در مطالعه قبلی، افزایش سطح ایزولوسین همراه با کاهش سطح لوسین و والین باعث بهبود تولید لاشه در جوجه‌های گوشتی ماده هنگامیکه نسبت لوسین: لیزین ۱۲۹ و نسبت والین:لیزین ۷۵ بود بهترین پاسخ بدست آمد. بعلاوه، نویسندگان اشاره نمودند که افزایش ایزولوسین و والین باعث افزایش بیشتر تولید گوشت سینه در جوجه‌های گوشتی شد، اما لوسین

بیشتر باعث کاهش آن گردید. دریک مطالعه توسط Maynard و همکاران (۲۰۲۰) که بر روی جوجه‌های گوشتی ماده کاب از سن ۱۵ الی ۳۵ روزگی انجام شد، مشاهده گردید که جیره‌های با پروتئین پائین (۱۹٪) با ایزولوسین کاهش یافته(۰/۷۸٪ در مقابل ۰/۸۲٪ در جیره پروتئین / کربوهیدراتPC diet) و لوسین کاهش یافته (۱/۵۷٪ در مقابل ۱/۶۶٪ در جیره PC) ۶ ٪ وزن بال بیشتری نسبت به پرندگانی که از جیره کم والین تغذیه شده بودند(۰/۸۷٪ در مقابل ۰/۹۱ ٪ در جیره PC) داشتند. محققین برای اسیدآمینه‌های شاخه‌دار کاهش یافته هیچگونه اثری بر روی سایر خصوصیات کیفی گوشت نظیر، سینه چوبی و وزن لاشه جوجه‌های گوشتی مشاهده نکردند. خوراک مصرفی در گروه حاوی ایزولوسین و لوسین کم در مقایسه با گروه والین کم در مطالعه قبلی Maynard و همکاران (۲۰۲۰) بالاتر بود، و این می‌تواند سطوح متغییر اسیدآمینه در هر پرنده را فراهم نماید. نویسندگان در آن مطالعه آزمایشی با جوجه‌های گوشتی نر کاب، گزارش دادند که گروه کم ایزولوسین، ضریب تبدیل غذائی بهتری از گروه‌های کم والین و کم لوسین داشتند، اما خوراک مصرفی بین تیمارها تفاوتی را نشان نداد. همچنین Maynard *et al.*(2020) اثر سطوح والین و لوسین در خوراک بر روی خصوصیات لاشه جوجه‌های گوشتی نر کاب را بررسی نمودند و گزارش دادند که گروه کم ایزولوسین وزن لاشه بالاتری نسبت به گروه کم والین داشت. همچنین جوجه‌های گوشتی نر تغذیه شده با خوراک کم ایزولوسین و کم لوسین ، حدود ۶/۶٪ وزن بال بیشتری داشتند در مقایسه با آنهائی که از جیره کم والین تغذیه کرده بودند. Leeson and Summers(2005) نیاز ایزولوسین و والین به لیزین را به ترتیب ۷۹٪ و ۸۹٪ اعلام نمودند.Miranda *et al.*(2014) حفظ نسبت‌های ۰/۷۷ برای والین به لیزین و۰/۶۷ برای ایزولوسین به لیزین به ترتیب بر اساس معیار قابل هضم بدون محدودکردن سطح پروتئین خام باعث تولید بهترین عملکرد و ذخیره کم چربی در جوجه‌های گوشتی برای مدت ۶ هفته گردید. محققین اشاره کردند که یک کاهش پروتئین خام جیره بایستی مکمل شود با هردوی ایزولوسین و والین تا عملکرد مشابه حفظ شود ، اما در مطالعه آنها، به سطح افزودن این اسیدآمینه‌های شاخه‌دار اشاره‌ای نشده است. در یک مطالعه توسط Miranda و همکاران (۲۰۱۵) این محققین اثر یک منبع سنتتیک ایزولوسین و والین را با منبع حاصل از اجزاء خوراک مقایسه نمودند، اما هیچگونه تفاوتی در عملکرد رشد جوجه‌های گوشتی مشاهده نکردند. Ospina-Rojas *et al.*(2014) اثر افزودن والین، ایزولوسین و والین+ ایزولوسین را در جوجه‌های گوشتی تغذیه شده با جیره کنترل منفی با کاهش پروتئین خام(۳-٪)، والین(۱۵-٪)، و ایزولوسین (۱۷-٪) تا ۶ هفته از سن معادل سطح این اسیدآمینه‌ها در جیره کنترل مورد آزمایش قرار دادند. آنها اذعان نمودند که ضریب تبدیل غذائی به شکل عددی با مکمل کردن والین و ایزولوسین بهبود یافت، در حالیکه افزایش وزن بدن در والین+ ایزولوسین ۱۱٪ ، و آمونیاک سرم حدود ۳۰٪ در والین، ایزولوسین یا ترکیب این دو در مقایسه با کنترل منفی کاهش نشان داد. در تحقیق دیگری بر روی جوجه‌های گوشتی Ospina-Rojas *et al.*(2017) سطوح مختلف لوسین و والین را در سنین ۲۱ الی ۴۲ روزگی مورد تغذیه این حیوانات قرار دادند. اثر متقابل مشاهده شده بین لوسین و والین بر روی خوراک مصرفی و افزایش وزن بدن ، و یک اثر درجه دو با نقطه حداقل تخمین زده شده ۱/۱۹٪ برای لوسین و ۰/۸۶٪ برای والین برای ضریب تبدیل غذائی مشاهده شد. در همان تحقیق، نویسندگان گزارش دادند که تولید گوشت سینه در سطح ۱/۱۳ ٪ لوسین جیره بیشترین بود. قطر الیاف اصلی در جیره حاوی ۱/۲۴٪ لوسین افزایش یافت و تولید ران در جیره حاوی ۰/۷۱ ٪ والین بیشترین بود ، این دلیلی است که جهت عملکرد بهینه با توجه به سطح لوسین بایستی والین را افزایش داد. همچنین این محققین گزارش دادندکه افزودن لوسین به شکل خطی میزان تری‌گلیسریدها و بتا-هیدروکسی بوتیرات را کاهش داد، درحالیکه با افزایش توام سطح لوسین و والین ، چربی محوطه بطنی به شکل خطی کاهش یافت. این مشاهده بسیار قابل توجه است، زیرا انتظار می‌رفت که با افزایش در وزن بدن پرندگان در پاسخ به مکمل کردن لوسین و والین وزن ماهیچه بیشتری نسبت به بافت ذخیره چربی افزایش یابد. در مقابل، در تحقیق اخیر (Kop-Bozbay *et al.*2021) که بر روی جوجه‌های گوشتی راس از سن ۱۶ الی ۴۲ روزگی انجام شد، مخلوط اسیدآمینه‌های شاخه‌دار عملکرد رشد را بهبود نبخشید. Pastor و همکاران (۲۰۱۳) با استفاده از مدل رگرسیون غیرخطی نسبت ایده‌آل لیزین : لوسین : ایزولوسین : والین را در جوجه‌های گوشتی در سنین ۲۰-۱۰ روزگی و ۳۵-۲۵ روزگی تعیین نمودند و نتیجه گرفتند که نیاز برای لوسین و والین در طی مرحله آخر رشد بالاست، از اینرو آنها نسبت بهینه را در مرحله آغازین از ۱۰۰:۹۴:۵۵:۶۵ به ۱۰۰:۱۰۶:۵۶:۷۲ در طی مرحله پایانی افزایش دادند. منابع علمی موجود و استانداردهای نژادی توصیه شده اظهار داشتند که با افزایش سن مقادیر پائین اسیدآمینه‌های شاخه‌دار برای رشد بهینه پرندگان مورد نیاز است، اما، نسبت اسیدآمینه‌های شاخه‌دار به لیزین در طی مرحله پایانی تغذیه افزایش می‌یابد (Allameh and Toghyani,2019;Aviagen,2019;Lee *et al.*,2020;Vantress,2020c).

احتیاجات و اثرات اسیدآمینه‌های شاخه‌دار در مرغان تخمگذار

انتظار می‌رود که اسیدآمینه‌های شاخه‌دار نقش مهمی در تولید تخم‌مرغ در مرغان تخمگذار داشته باشد، بطوریکه تولید لیپوپروتئین کبدی از طریق متابولیسم اسیدچرب در کبد توسط این اسیدآمینه‌ها تنظیم می‌شود(Macelline *et al.*,2021) . راهنمای مشخصات تغذیه‌ای مرغان تخمگذار سویه‌های های-لاین و لهمان برای لوسین توصیه‌ای ارائه نکرده‌اند، در حالیکه NRC(1994) به احتیاجات لوسین در مرغان تخمگذار و گله‌های مادر اشاره کرده است(جدول ۲). احتیاجات اسیدآمینه‌های شاخه‌دار برای مرغان تخمگذار در مرحله رشد و تولید متغییر و بر اساس قابل‌هضم، کل یا درصدی از لیزین ارائه شده است(جدول۲). اخیرا، Macelline و همکاران (۲۰۲۱) احتیاجات اسیدآمینه‌ها در مرغان تخمگذار را بررسی و گزارش دادند که در نیاز ایزولوسین یک عدم هماهنگی وجود دارد، اما نیاز روزانه والین برای هر پرنده ۶۱۴ میلی‌گرم بر اساس کل و ۵۳۲ میلی‌گرم بر اساس قابل‌هضم بود و مصرف جیره‌ای والین همبستگی مثبتی با خوراک مصرفی داشت. Machlin و همکاران (۱۹۶۵) اثر لوسین در عملکرد پولت‌های رد آیلند رد و لگهورن سفید با تاج ساده را بررسی کردند و نشان دادند که نیاز لوسین نباید بیشتر از ۱٪ جیره‌ای که پروتئین خام آن ۱۶٪ باشد. موقعیکه پودر گوشت به عنوان منبع اصلی پروتئین مورد استفاده قرار گرفت، Miller و همکاران (۱۹۵۴) تعیین نمودند که ۰/۵۳٪ال-ایزولوسین برای نگهداری و تولید تخم‌مرغ پولت‌های لگهورن سفید با تاج ساده مورد نیاز است، اما در تحقیق آنها مقادیر پروتئین خام و انرژی قابل متابولیسم (AME) مورد استفاده در جیره گزارش داده نشده است. Parenteau و همکاران (۲۰۲۰) اثر افزودن ایزولوسین به جیره کم پروتئین (۲٪ کمتر از کنترل در هر مرحله) در مرغان تخمگذار سویه شیورسفید را از سن ۲۰ الی ۴۶ هفتگی مورد بررسی قرار دادند و افزایش درصد ایزولوسین به لیزین ، افت تولید تخم‌مرغ ناشی از پروتئین خام پائین در مقایسه با جیره حاوی پروتئین خام استاندارد را جبران نمود(۳/۳٪ در فاز اول و ۱/۵٪ در فاز دوم). بعلاوه، ۹۰٪ میزان ایزولوسین به لیزین در مطالعه بالا نسبت‌های بیشتری از تخم‌مرغ‌های بزرگ(۶۳-۵۶ گرم) را تولید نمود و محققین گزارش دادند

که پاسخ بهینه هنگامی مشاهده می‌شود که ایزولوسین مکمل شده ۸۲الی ۸۸درصد میزان لیزین بر اساس SID در جیره باشد. بطور شگفت‌انگیزی غلظت ایزولوسین در جیره، هزینه تولید تخم‌مرغ‌های با اندازه بزرگ را بهینه کردو اثرات منفی عملکرد پروتئین خام پائین را جبران نمود.
Peganova and Eder(2003) دریافتند که یک همبستگی بین افزودن ایزولوسین و والین+ لوسین در جیره‌های غذائی مرغان تخمگذار وجود دارد، بطوریکه افزایش در ایزولوسین (۱/۱۵ -۰/۵۷ درصد) در پائین‌ترین سطح والین + لوسین(به ترتیب ۰/۶۳ ٪ و ۰/۷۲٪)توده تخم‌مرغ و افزایش وزن بدن را کاهش داد، درحالیکه در سطح بالای والین+لوسین (به ترتیب۱/۰۱ ٪ و ۱/۱۵٪)، فقط ایزولوسین بالا باعث افت اندکی در عملکرد شد. در یک مطالعه قدیمی‌تر بر روی مرغان تخمگذار توسط Peganova and Eder(2002) ، بیشترین ابقاء نیتروژن در حالتی بود که مقدار ایزولوسین بین ۰/۴۳٪ و ۰/۵۷٪ بود، درحالیکه میزان بالای ۰/۸٪ ، وزن بدن را کاهش و بالاتر از ۱٪ توده تخم‌مرغ را کاهش داد. هنگامیکه Dong و همکاران(۲۰۱۶) مکمل کردن ایزولوسین قابل هضم را از ۰/۵۴٪ به ۰/۹۴ ٪ در جیره با پروتئین خام پائین(۱۴٪) افزایش دادند هیچگونه تفاوت معنی‌داری در عملکرد تخمگذاری یا خصوصیات مخاط و ایمنی مشاهده نشد. در مطالعه Sakomura و همکاران(۲۰۱۵) احتیاجات ایزولوسین، لوسین و والین برای نگهداری مرغان مادر گوشتی به ترتیب ۹۴ ، ۵۲ و ۱۵۵ میلیگرم در هر کیلوگرم وزن متابولیکی بدن ($W^{0.75}$) در روز و ۳۲۹، ۱۷۲ و ۵۴۶ میلی گرم در هر کیلوگرم در روز بر اساس پروتئین متابولیکی ، با استفاده مدل رگرسیون خطی برای مصرف پروتئین دربرابر اسیدآمینه تعیین نمودند. Lima و همکاران(۲۰۱۸) برآورد کردند که بازدهی مصرف والین و ایزولوسین در مرغان مادر گوشتی با سن ۳۰ هفته به ترتیب ۰/۷ ٪ و ۰/۶۶ ٪ است ، در حالیکه برآورد مصرف روزانه با استفاده از مدل خط شکسته برای والین ۸۰۳ میلی‌گرم در روز و برای ایزولوسین ۷۰۸ میلی‌گرم در روز بود. اخیرا، در یک مطالعه بر روی مرغان تخمگذار از سن ۳۳ الی ۴۱ هفتگی والین در سطوح مختلف از ۰/۵۹٪ تا ۰/۷۹٪ مورد استفاده قرار گرفت، بطوریکه خوراک مصرفی روزانه برای هر پرنده ۱۰۰ گرم بود(Jian *et al.*,2021a). این محققین گزارش دادند که با افزایش والین، توده تخم‌مرغ، میزان تخمگذاری، و فعالیت تریپسین در دئودنوم و سطح بیان ژن انتقال دهنده اسیدآمینه افزایش یافت، درحالیکه واحد هاو ، ضخامت پوسته تخم‌مرغ، رنگ زرده تخم‌مرغ و شاخص‌های ایمنی کاهش یافتند. در مطالعه‌ای که توسط Azzam و همکاران (۲۰۱۵) بر روی مرغان تخمگذار انجام شد، افزایش سطح ال- لیزین در جیره به میزان ۲۹٪ (۹ گرم در کیلوگرم به جای ۷ گرم در کیلوگرم) باعث افزایش ۴٪ آلبومین سرم در مقایسه با جیره کنترل شد. این محققین هیچ تفاوتی در میزان ایمونوگلوبین‌ها در پاسخ به مکمل‌کردن ال- والین مشاهده نکردند، درحالیکه وقتی ال- والین به میزان ۲ گرم در هر کیلوگرم نسبت به جیره کنترل اضافه شد، گلوکز و تری آیودوتایرونین به ترتیب ۴۴٪ و۲۵٪ افزایش یافتند. پرندگان در این مطالعه تحمل افزودن ال- والین تا ۱/۱۲٪ را داشتند، اما هیچ اختلافی در تولید تخم‌مرغ یا متابولیت‌های سرم وجود نداشت. Bregendahl و همکاران (۲۰۰۸) میزان نسبت ایزولوسین و والین به لیزین را برای مرغان تخمگذار درسنین ۲۸ الی ۳۴ روزگی به ترتیب ۷۹٪ و ۹۳٪ پیشنهاد نمودند. نیاز اسیدآمینه‌ها توسط NRC(1994)برای مرغان تخمگذار در همین سن برای هر دوی این اسیدآمینه بالاتر بود به طوریکه برای ایزولوسین ۹۴٪ لیزین و برای والین ۱۰۱٪ لیزین بود.

احتیاجات اسیدآمینه‌های شاخه‌دار در سایر گونه‌های طیور

گزارشات علمی زیادی در خصوص احتیاجات اسیدآمینه‌های ضروری در گونه های مختلف طیور علاوه بر مرغ وجود دارد، اما اطلاعات در باره نیاز اسیدآمینه‌های شاخه‌دار و نسبت بهینه آنها محدود است. همچنین بوقلمون و اردک برای تولید گوشت با خوراک تجارتی طیور پرورش داده می‌شوند و لذا گنجاندن نسبت‌های مناسب اسیدآمینه‌های شاخه‌دار باعث افزایش تولید و بازدهی خوراک این پرندگان می‌شود در یک کار محدودی که توسط Timmler and Rodehutscord در سال ۲۰۰۳ انجام شد، سطوح مشخصی از ال-والین تا ۱/۲۷٪ در خوراک اردک‌های پکین سفید از سن ۰ الی ۲۱ روزگی مورد تغذیه قرار گرفت، بطوریکه جیره پایه حاوی ۰/۶۸٪ والین، ۱۸٪ پروتئین خام و ۲۹۹۰ کیلوکالری انرژی قابل متابولیسم در هر کیلوگرم بود و هیچ اثری مشاهده نشد. اما محققین مشخص کردند که ۰/۷٪ والین باعث افزایش ۹۵٪ تولید پروتئین می‌شود. همچنین مطالعه اسیدآمینه‌های شاخه‌دار در گله‌های مادر بلدرچین‌های ژاپنی توسط Hanafy and Attia(2018) گزارش شده است، این محققین تعیین نمودند که ۱۸٪ پروتئین خام و ۰/۲٪ ال- والین برای عملکرد رشد و تولید تخم‌مرغ بلدرچین ، بهینه می‌باشد. در مطالعه‌ای که توسط Kop-Bozbay and Ocak(2020) بر روی جوجه بوقلمون‌ها انجام شد، مخلوط اسیدآمینه‌های شاخه‌دار شامل ال- لوسین، ال-ایزولوسین و ال- والین با نسبت‌های به ترتیب ۳:۱:۲ درجیره به پرندگان با سن یک هفته ، بلافاصله یا با تاخیر ۴۸ الی ۷۲ ساعت داده شد. نتایج نشان داد که مخلوط اسیدآمینه‌های شاخه‌دار تمایل به افزایش وزن بدن در تمام گروه‌ها دارد و پرندگانی که با تاخیر تغذیه شده بودند افزایش رشد عضلات سینه‌ای نشان داده شد.

تاثیر تزریق درون تخم‌مرغی اسیدآمینه‌های شاخه‌دار بر توسعه جنین و قابلیت جوجه‌درآوری

علاوه بر اهمیت تامین موادمغذی خاص برای پرنده پس از تفریخ، تکنیک‌های تغذیه درون تخم‌مرغی درحال تکامل هستند، بنابراین موادمغذی کافی و ترکیبات زیست‌فعال را می‌توان در اواخر دوره رشد جنین تامین نمود، درنتیجه این امر باعث عملکرد بهتر رشد پس از تفریخ خواهد شد. Kita و همکاران (۲۰۱۵) حدود ۱٪ لیزین و ایزولوسین ، که معادل ۴۵۳ میلی‌گرم لوسین و ۲۷۱ میلی‌گرم ایزولوسین در تخم‌مرغ بود، به روش تزریق درون تخم‌مرغی در ناحیه اتاقک هوائی قبل از انکوباسیون به تخم‌مرغ‌ها تزریق نمودند و گزارش دادند که رشد جنین تسریع پیدا کرد و زمان تفریخ جوجه‌ها کاهش یافت. گزارش شده که تغذیه درون تخم‌مرغی ال- لوسین باعث بهبود تحمل دمائی و افزایش وزن بدن جوجه‌های گوشتی در طی تنش حرارتی می‌گردد (Chowdhury *et al.*,2020; Han *et al.*,2020;Table2) . در مقایسه با ایزولوسین یا والین، تزریق درون تخم‌مرغی ۳۵ میکرومول لوسین در هر ۵۰۰ میکرولیتر آب استریل در کیسه زرده جنین ۷روزه بطور معنی‌داری درجه حرارت بدن را در زمان تفریخ کاهش داد و وزن جوجه‌ها راتا ۵ روزگی بهبود بخشید(Han *et al.*(2017). بعلاوه Han *et al.*(2019) گزارش دادند که تزریق درون تخم‌مرغی ال-لوسین در روز هفتم جنین‌زائی باعث کاهش تیروکسین پلاسما و درجه‌حرارت مقعدی بلافاصله پس از تفریخ ، افزایش درجه‌حرارت مقعدی در جوجه‌های تازه بدنیا آمده بعد از تفریخ ، و مجددا کاهش دمای مقعدی در سن ۱۰ روزگی جوجه‌های گوشتی تحت تنش حرارتی گردید. کاهش درجه‌حرارت بدن در زمان تفریخ ممکن است به دلیل عدم توانائی جوجه‌های تفریخ شده در حفظ

هموستاز درجه‌حرارت بدن باشد، اما افزایش درجه‌حرارت مقعدی جوجه‌های تفریخ شده اشاره دارد به توسعه نقش تنظیم کننده دمائی مرتبط با سرعت متابولیسم بالا در گروه‌هائی که لوسین دریافت کردند. کاهش در درجه‌حرارت مقعدی پرندگان تحت تنش حرارتی بیانگر این مطلب است که تجویز درون تخم‌مرغی لوسین می‌تواند تحمل دمائی جوجه‌ها را افزایش دهد(Han *et al.*,2017) . اما، Zeitz و همکاران (۲۰۱۹)نشان دادند هنگامیکه لوسین تا ۶۰٪ بیشتر از توصیه پرورش‌دهندگان به جوجه‌های گوشتی داده شد(برای مراحل آغازین، رشد و پایانی به ترتیب ۱/۵۹٪، ۱/۴۳٪ و ۱/۳۵٪)، این مکمل‌کردن لوسین هیچ اثر معنی‌داری بر روی مسیرهای سنتز پروتئین یا تجزیه ماهیچه ایجاد نکرد. تزریق درون تخم‌مرغی لوسین، ایزولوسین و والین در دوزهای ۴ الی ۷ میلی‌گرم در ۰/۵ میلی‌لیتر آب استریل باعث افزایش ۲۱٪ در وزن بدن جوجه‌های گوشتی در هفته اول همراه با افزایش ایمنی هومورال و سلولی در مقایسه با تیمار کنترل در مطالعه اخیر شد(Bhanja and Mandal,2005). بعلاوه، در جوجه بوقلمون‌ها هنگامی‌که مخلوط ۰/۲٪ اسیدآمینه‌های شاخه‌دار لوسین، والین و ایزولوسین به ترتیب بانسبت‌های ۳:۱:۲ در آمنیون تزریق گردید،در مقایسه با تیمار کنترل که در آنها محلول نمکی نرمال به طور مشابه تزریق شده بودند، قابلیت جوجه‌درآوری ۹٪ کاهش یافت ، اما کیفیت جوجه ۲/۵٪ بهبود، و وزن در زمان تفریخ ۱۳٪افزایش داشت(Kop-Bozbay and Ocak,2019).

تاثیر اسیدآمینه‌های شاخه‌دار بر روی توسعه روده، ایمنی و جمعیت میکروبی

برای رشد بهتر و عملکرد تخمگذاری مناسب طیور، توسعه و عملکرد مناسب اندام‌های دستگاه گوارش مرتبط با سلول‌های ایمنی، یکپارچگی روده و توازن جمعیت میکروبی روده، ضروریست(Singh and Kim, 2021;Singh *et al.*,2021a). علیرغم قبول نقش معنی‌دار اسیدآمینه‌های شاخه‌دار در تنظیم ایمنی و سلامت دستگاه گوارش، هیچ مکانیزم ویژه‌ای برای اثرات متقابل آن در مقالات موجود شرح داده نشده است. بعلاوه، در طیور، مطالعات برروی نقش اسیدآمینه‌های شاخه‌دار بر روی ایمنی هدف، جمعیت میکروبی و سلامت کلی دستگاه گوارش ، ناچیز است. انتظار می‌رود که پاسخ اثرات مکمل‌کردن اسیدآمینه‌های شاخه‌دار در طیور مشابه پاسخ در خوک و موش باشد (Wesney and Tannnock,1979;Zhang *et al.*,2018). با این وجود، از آنجائی‌که تفاوت‌های ذاتی در ایمنی و جمعیت میکروبی طیور، خوک و سایر گونه‌های تک‌معده‌ای وجود دارد، لذا مطالعات بیشتری جهت بررسی اثرات اسیدآمینه‌های شاخه‌دار بر روی شاخص‌های سلامت دستگاه گوارش طیور مورد نیاز است.

برخی تحقیقات بر روی انسان و مدل‌های درون آزمایشگاهی مشخص نموده که اسیدآمینه‌های شاخه‌دار از طریق انتقال‌دهندگان اسیدآمینه خنثی مستقل ازسدیم یا حاملان املاح انتقال داده می‌شوند و درچندین زیرخانواده در مغز، صفرا، کبد، عضلات اسکلتی، روده و کلیه‌ها بیان می‌شوند (Hayashi and Anzai,2017;Bonvini *et al.*,2018). در ارتباط با اکسیداسیون، دی‌آمیناسیون و ترانس‌آمیناسیون اسیدآمینه‌های شاخه‌دار برای تامین انرژی و سایر فعالیت‌های فیزیولوژیکی سلول‌ها و بافت‌های مختلف Bonvini و همکاران (۲۰۱۸) یک مقاله مروری جامع را به چاپ رساندند. بطور خلاصه، انتقال عامل آمین در اسیدآمینه‌های شاخه‌دار در حضور آنزیم انتقال دهنده عامل آمین اسیدآمینه شاخه‌دار(BCAT) و تولید آلفا – کتواسیدهای شاخه‌دار(BCKAs) بخوبی اکسیداسیون دکربوکسیلاسیون غیرقابل برگشت اسیدآمینه‌های شاخه‌دار ظاهر می‌شود و توسط آنزیم آلفا- کتواسید دهیدروژناز شاخه‌دار(BCKD) کاتالیز می‌شود. بر اساس مسیرها و تولید متابولیت های نهائی، والین گلوکوژنیک و ایزولوسین می تواند هم گلوکوژنیک و هم کتوژنیک باشد. هنگامیکه اسیدآمینه‌های شاخه‌دار تخمیر می‌شوند، والین به ایزوبوتیرات، لوسین به ۲- متیل بوتیرات، و ایزولوسین به ایزووالرات به عنوان اسیدچرب شاخه‌دار(BCFA) تبدیل می‌شوند، متابولیت‌هائی که دارای اثرات سمی عمده‌ای نیستند (Smith and Macfarlane,1998;Apajalahti and Vienola,2016). مخاط روده هردوی BCAT و BCKD را دارا می‌باشد، مقدار BCAT در کبد پائین است ، ماهیچه اسکلتی به عنوان محل اصلی برای اسیدآمینه‌های شاخه‌دار شناخته می‌شود، اکسیداسیون، اسیدآمینه‌های شاخه‌دار را از طریق BCKD تنظیم می‌کند و سلول‌های ایمنی سطح بالائی از هردوی BCAT و BCKD ر دارا می‌باشند و سطح مصرف اسیدآمینه‌های شاخه‌دار را عمدتا در طی فازS چرخه سلول، افزایش می‌دهند.

نقش اسیدآمینه‌های شاخه‌دار در ایمنی

در کبد، از بین اسیدآمینه‌های شاخه‌دار، عمدتا والین لمفوژنز گرانولار و لمفوژنز آگرانولار را به خوبی کشنده طبیعی(NK) افزایش می‌دهد (Monirujjaman and Ferouse,2014) . همچنین مقدار زیاد اسیدآمینه‌های شاخه‌دار ایمونوگلوبولین‌های A مترشحه مخاطی را تحریک کرده که باعث کاهش تکثیر عوامل بیماری‌زا در لامینا پروپریا می‌گردد، و اسیدآمینه‌های شاخه‌دار نقش مهمی را به عنوان منبع سوخت برای سلول‌های سفید خون، سیتوکین‌های پیش التهابی نظیر اینترلوکین – ۱۲ و نقش سلول دندریتیک در تقویت پاسخ‌های ایمنی ذاتی و اکتسابی، بازی می‌کنند(Ma *et al.*,2018; Nie *et al.*,2018). در یک بررسی کشت سلولی، جائیکه سلول‌های مزانشیمی در محیط مکمل شده با اسیدآمینه‌های شاخه‌دار کشت شده بودند، اسیدآمینه‌های شاخه‌دار طول عمر سلول‌های مزانشیمال را افزایش داده، باعث کاهش نسبت p-FkB/NFkB و افزایش نسبت بیان ژن p-STAT- 3/STAT-3 گردیدند، کاهش اینترلوکین – ۶ و TNF-α و افزایش میانجی‌های ضد تورمی را سبب شدند(Sartori *et al.*,2020). در طی مطالعات آزمایشگاهی اشاره شده که اسیدآمینه‌های شاخه‌دار در پروتئین‌هائی که در سنتز RNA و DNA مشارکت می‌کنند نقش داشته و با اکسیداسیون وظایف سلولی توسط سلول‌های ایمنی را انجام می‌دهند (Calder,2006) . گزارشات فوق این واقعیت را حمایت می‌کند که اسیدآمینه‌های شاخه‌دارهردو نقش سازندگی و اثرات تنظیم کننده سیستم ایمنی را برعهده دارند. بعلاوه، مکمل کردن اسیدآمینه‌های شاخه‌دار در یک جیره با پروتئین خام پائین (۱۷٪) برای بچه خوک‌ها جهت تامین نیازهای استاندارد اسیدآمینه‌های شاخه‌دار باعث کاهش اوره پلاسما و تعداد لمفوسیت‌های بین اپیتلیالی و افزایش ارتفاع پرزها در ناحیه دئودنوم و ایمونوگلوبولین Aدر مقایسه با جیره‌ای که پروتئین آن محدود شده است، گردید(Ren *et al.*,2015). یک افزایش سطح لمفوسیت‌های بین اپیتلیالی ممکن است برای نقش طبیعی به عنوان تورم در مخاط، مطلوب نباشد(Cheroutre *et al.*,2011). در یک مطالعه درون آزمایشگاهی با استفاده از بافت ۱۹ روزگی جنین مرغ، Liu و همکاران (۲۰۱۸) اثرات مکمل کردن لوسین در لیپوپلی‌ساکارید(LPS) بافت ها را درمان نموده و مشاهده کردند کهLPS پاسخ التهابی توسط لوسین را کاهش داده که این امر از طریق فسفریلاسیون هسته فا کتورKb (NF- Kb) می‌باشد. افزودن یک مقدار بیش از ۰/۳٪ اسیدآمینه‌های شاخه‌دار همراه با آرژنین و سیستئین

در یک دوز پائین (۲۵میکروگرم در کیلوگرم) چالش LPS در بچه خوک‌های از شیر گرفته شده تاحدودی بیومارکرهای تنش التهابی و تغییرات هورمونی را که توسط چالش LPS تشدید شده بود، معکوس کرد(Prates *et al.*,2021). کورتیزول سرم در گروه‌های تحت درمان با اسیدآمینه‌های شاخه‌دار +آرژنین+ سیستئین از ۳/۵ میکروگرم در دسی لیتر به ۱/۷ میکروگرم در دسی لیتر در ۱۰ روزگی کاهش یافت، درحالیکه هاپتوگلوبولین از ۱۹/۸۴ میلی‌گرم در دسی لیتر به ۱۳/۵۹ میلی‌گرم در دسی لیتر کاهش یافت و فاکتور رشد -۱ شبه انسولین از ۱۴۴ میکروگرم در لیتر به ۲۳۱ میکروگرم درلیتر در سن ۳۵ روزگی در مقایسه با گروه کنترل در مطالعه فوق افزایش یافت. هنگامی‌که والین از ۶/۴ به ۸/۶۵ گرم در کیلوگرم در مرغان گوشتی طی سنین ۳ الی ۶ هفته افزایش یافت Thornton و همکاران (۲۰۰۶) هیچ تغییری در اندام‌های ایمنی یا تیتر آنتی‌بادی مشاهده نکردند و نتیجه گرفتند که کمبود حاشیه‌ای والین ایمنی را به خطر نمی‌اندازد بطوریکه نیازبرای ایمنی ممکن است کمتر از نیاز رشد پرنده باشد. این نتایج اشاره می‌کند که والین برای وظایف رشد و فیزیولوژیکی ضروری می‌باشد، امانسبت آن به سایر اسیدآمینه‌ها مخصوصا سایر اسیدآمینه‌های شاخه‌دار ، برای پاسخ بهینه ضروری است. بطور معمول، کفایت قابلیت دسترسی اسیدآمینه برای سنتز مولکول‌های سایتوتوکسیک، پلی‌پپتیدها، ایمونوگلوبولین‌ها، سایتوکین‌ها، و بیشتر ، به اندازه ارتباطات و وظایف شیمیائی هر دوی سیستم ایمنی ذاتی و اکتسابی ضروری است(Calder,2006;Li *et al.*,2007) . همچنین منابع کافی اسیدآمینه‌های شاخه‌دار برای سلول‌های ایمنی جهت سنتز اسیدهای نوکلئیک و پروتئین‌های آنها ضروری بوده، بعلاوه یک منبعی برای تقسیم سلولی فراهم می‌کند(Zhou *et al.*,2018).

تاثیر اسیدآمینه‌های شاخه‌دار بر روی توسعه روده و انتقال مواد مغذی

تمام انواع طیور نیاز به پرزهای طولانی‌تر دارند تا با سطح بیشتر ، مواد غذائی را بهتر جذب کنند. به دلیل ارتباط بین غذا و میکروارگانیزم‌ها ، یک لایه از سلول‌های پرزهای اپیتلیال با گذشت زمان جدا می‌شود، که در طی شرایط بیماری مقدار آن قابل توجه خواهد بود(Singh and Kim,2021). سلول‌های از دست رفته پرزها مجددا از طریق تقسیم کریپت‌ها و طی تحلیل پرزها، تکثیر پیدا می‌کنند، بنابراین نسبت پرز : کریپت یک نشانه خوب از سلامت روده محسوب می‌شود(Jeurissen *et al.*,2002; Wang *et al.*,2020; Singh *et al.*,2021b) . افزودن لوسین (۲/۲-۱/۳۷ درصد به جیره) در جوجه‌های گوشتی بطورقابل‌توجهی ارتفاع پرز را در ژژنوم وایلئوم و نسبت پرزها به کریپت در دئودنوم ، ژژنوم و ایلئوم را افزایش داد، بنابراین نقش لوسین در توسعه روده را تائید می‌کند(Chang *et al.*,2015). در یک مطالعه که برروی جوجه‌های گوشتی انجام شد،(2019)Allameh and Toghyani گزارش دادند که مکمل‌کردن والین در جیره‌های با پروتئین خام پائین به صورت ۹۰٪ لوسین قابل هضم در یک جیره کنترل مثبت(۰/۹٪ در آغازین، ۰/۷۹٪ در رشد و ۰/۷۱٪ در پایانی) باعث افزایش ارتفاع پرزها به میزان ۲۹٪ در ناحیه ژژنوم و ۱۷٪ در ناحیه ایلئوم شد، و به همین صورت تعداد سلول‌های گابلت در ناحیه ژژنوم ۱۲٪ و در ایلئوم ۹٪ افزایش نشان داد. این محققین دریافتند که مکمل کردن والین تاثیری در پاسخ ایمنی نداشته اما باعث افزایش ساخت پروتئین و بهبود ریخت‌شناسی روده جوجه‌های گوشتی گردید. همچنین فرآیند ترانس‌آمیناسیون اسیدآمینه‌های شاخه‌دار قادر به تامین گروه‌های آمینی برای ساخت سایر اسیدآمینه‌ها ، مخصوصا گلوتامات و آسپارتات می‌گردد که به عنوان سوخت اصلی برای مخاط روده باریک جهت زادآوری پروتئین بین سلولی و انتقال مواد مغذی تشخیص داده شده‌اند (Zhou *et al.*,2018). اگر نسبت لوسین، ایزولوسین و والین نامتعادل باشد، افزودن لوسین همیشه با رشد و تزاید سلول‌های روده همراه نخواهد بود (Coeffier *et al.*,2011; Suryawan *et al.*,2013).

متابولیسم اسیدآمینه‌های شاخه‌دار یک اسکلت کربنی و نیتروژن برای سایر اسیدآمینه‌ها، بخصوص گلوتامین، فراهم می‌کند و بنابراین فعالیت ایمنی را حمایت می‌کند(De Simone *et al.*,2013). افزایش تامین اسیدآمینه‌های شاخه‌دار در مغز ، تولید گلوتامات را محدود کرده و از رسیدن این انتقال دهنده عصبی به سطح سمیت جلوگیری می‌کند(Yudkoff,2017). بعلاوه، تولید آلانین و گلوتامین توسط ترانس آمیناسیون اسیدآمینه‌های شاخه‌دار از تجمع آمونیاک در ماهیچه‌ها جلوگیری کرده و آنرا برای متابولیسم و دفع به کبد و کلیه انتقال می‌دهد(Coqueiro *et al.*,2018).

از نظر ماهوی، اسیدآمینه واحد اولیه پپتیدها می‌باشد که درون‌زادی تولید می‌شود و می‌تواند اثرات ضدمیکروبی داشته باشد. سلول‌های اپیتلیال جدار داخلی دستگاه گوارش برای جلوگیری از چالش‌های ادامه‌دار تهاجم میکروبی طیف وسیعی از پپتیدهای ضدمیکروبی شامل دفنسین‌ها و کاتلیتیسین‌هارا تولیدمی‌کنند (Gallo and Hooper,2012). در طی یک مطالعه دسته‌جمعی آزمایشگاهی با سلول‌های اپیتلیال روده خوک و یک مطالعه مزرعه‌ای بر روی خوک توسط Ren و همکاران (۲۰۱۶)، آنها مشاهده کردند که اسیدآمینه‌های شاخه‌دار، عمدتا ایزولوسین، احتمالا بتا- دفنسین توسط فعال شدن مسیر سیگنالی Sirt1/ERK/90RSK را تحریک می‌کند. نسبت اسیدآمینه‌های شاخه‌دار لوسین: ایزولوسین: والین که از ۱: ۰/۲۵ : ۰/۲۵ به۱: ۰/۷۵ : ۰/۷۵ که به جیره خوک‌ها حاوی پروتئین محدودشده(۱۷٪ پروتئین خام) افزوده شد ، باعث افزایش بیان انتقال دهنده اسیدآمینه ، کاهش ژن‌های تجزیه‌کننده پروتئین ماهیچه، افزایش غلظت اسیدآمینه‌های آزادو کاهش میزان نیتروژن اوره سرم خون گردید(Duan *et al.*,2016). اسیدآمینه‌های شاخه‌دار افزوده شده به جیره کم پروتئین(۱۷٪ پروتئین خام در برابر ۲۰/۹٪ پروتئین خام) که سطوح یکسانی از لوسین، ایزولوسین و والین را در خوکچه‌های از شیر گرفته‌شده داشتند، نشان داد که اینگونه افزودن باعث افزایش تغییردهنده اسیدآمینه خنثی – Na^+ و انتقال‌دهنده اسیدآمینه کاتیونیک همراه با بهبود در هیستومورفولوژی مخاط می‌گردد(Zhang *et al.*,2013). در پاسخ به مکمل‌کردن لوسین در خوکچه‌های از شیرگرفته شده ، ارتفاع پرز و نسبت پرز : کریپت افزایش یافت (Sun et al.,2015). همچنین محققین گزارش دادند تنظیم پروتئین ATB^{0+} ، یک انتقال‌دهنده اسیدآمینه که ۱۸ اسیدآمینه تولیدکننده پروتئین را از ۲۰ اسیدآمینه همراه با انتقال‌دهنده لوسین در ژژنوم خوکچه‌هائی که لوسین در خوراکشان مکمل شده بود، را انتقال می‌دهد. این اشاره می‌کند که افزودن نسبت مناسب لوسین باعث افزایش جذب چندین اسیدآمینه در روده می‌شود.

اثرات اسیدآمینه‌های شاخه‌دار بر روی میکروبیوم دستگاه گوارش

هنوز اطلاعات در خصوص اثر اسیدآمینه‌های شاخه‌دار بر روی میکروبیوتای دستگاه گوارش محدود بوده و نیاز به تحقیقات بیشتری است. در یک مطالعه کشت آزمایشگاهی با استفاده از محتویات دستگاه گوارش خوک، Dai و همکاران (۲۰۱۰) اسیدآمینه‌های شاخه‌دار را همراه با سایر اسیدآمینه‌ها اضافه نمود و اذعان

نمود که این اسیدآمینه‌ها بایستی توسط باکتری‌ها جهت سنتز پروتئین مورد استفاده قرار گیرد و لذا این اسیدآمینه‌های شاخه‌دار باید تنوع باکتریائی روده را تنظیم نماید. Van der Wielen و همکاران (۲۰۰۲) در یک تحقیق درون آزمایشگاهی با استفاده از باکتری تخمیرکننده لاکتات (سویه $G17^T$) که از سکوم جوجه‌های گوشتی ۳۱ روزه جداشده بودند و این باکتری تشابه با *کلستریدیوم پروپیونیکوم* (۵٪>۹۳) و *کلستریدیوم نئوپروپیونیکوم* (۵٪>۹۳) داشت ، با افزودن ال- ولین، ال-لوسین و ال- ایزولوسین در سوبسترا رشد آرام و متوسطی نشان داده شد. در مطالعه اخیر که توسط Yin و همکاران(۲۰۲۰) بر روی خوکچه‌های با محدودیت شدید پروتئین‌خام (۱۴٪ CP در مقابل ۲۰٪ CP) انجام شد، افزایش اسیدآمینه‌های شاخه‌دار در یک جیره استاندارد باعث بهبود فراوانی *گاماپروتئوباکتریا* ،*لاکتوباسیلوس‌ها* و *آئروموناداز* گردید که توسط محدودیت پروتئین خام تغییرکرد. در مطالعه دیگر بر روی خوکچه‌های از شیرگرفته شده توسط Spring و همکاران (۲۰۲۰) ، خوک‌های تغذیه شده با پروتئین‌خام پائین (۱۴-۱۳٪ CP در مقابل ۲۰٪ CP) با تمام ۳ اسیدآمینه شاخه‌دار مکمل شد تا به سطح استاندارد جیره کنترل برسد و این افزودن باعث ایجاد کلنی جمعیت باکتری‌های مفید دستگاه گوارش گردید. محققین گزارش دادند که افزودن اسیدآمینه‌های شاخه‌دار به جیره کم‌پروتئین باعث افزایش جمعیت *Paludibacteraceae* و *Synergistaceae* و کاهش *Streptococcaceae* ، *Oxyphotobacteria_unclassified* ، *Pseudomonadaceae* و *Shewanellaceae* در مدفوع درمقایسه با کنترل شد. *Paludibacter* از خانواده *Paludibacteraceae* به عنوان تخمیرکنندگان کربوهیدرات شناخته شده‌اند که استات و بوتیرات تولید می‌کنند. Apajalahti and Vienola(2016) گزارش دادند که *Lactobacillus spp.* و *C.perfringes* نیاز به لوسین و ایزولوسین برای رشدشان دارند درحالیکه *Escherichia coli* وابسته به این اسیدآمینه‌ها نیست و بنابراین تغییر در تامین چنین اسیدآمینه‌هائی می‌تواند گروه‌های باکتریائی موردنظر را در یک حالت رقابتی با سایر باکتری‌ها در دستگاه گوارش طیور ایجاد کند. Jian *et al.*(2021_b) اثرات مکمل کردن والین به جیره غذائی مرغان تخمگذار با سن ۳۳ هفته را مورد بررسی قرار داد، جائیکه جیره کنترل پایه حاوی ۰/۵۹٪ والین کل و جیره مکمل شده ۰/۷۹٪ والین داشت. محققین گزارش دادند که افزودن والین تاثیری بر روی تنوع آلفا و بتای میکروب‌های سکومی نداشت، اما باعث کاهش فراوانی نسبی *Fusobacterium* ، *Aeriscardovia* ، *Anaerobiospirillum* ،*Aerococcus* ، *Corynebacterium* و *Campylobacter* و افزایش فراوانی نسبی *Oribacterium* و *Frisingicoccus* گردید. چنین اطلاعاتی اشاره دارد به اینکه افزودن اسیدآمینه‌های شاخه‌دار یک اثر مفیدی بر روی جمعیت میکروبی و به نوبه خود بهبود رشد می‌گردد. جهت تعدیل جمعیت میکروبی در طیور ، تنظیم سطح اسیدآمینه‌های شاخه‌دار در جیره نیاز به تحقیق بیشتری دارد تا استفاده از آنتی‌بیوتیک‌های محرک رشد را محدود کند.

تاثیراسیدآمینه‌های شاخه‌دار بر روی توسعه اسکلت جوجه‌های گوشتی

Farran and Thomas (1992) اثرات والین و یک جیره با کمبود اسیدآمینه‌های شاخه‌دار را بر روی جوجه‌های گوشتی نر طی سه هفته مورد بررسی قرار داده و گزارش دادند که خاکستر استخوان و کلسیم استخوان درپرندگان با کمبود والین (۰/۶۳٪) کمتر از گروه کنترل یا پرندگان با کمبود اسیدآمینه‌های شاخه‌دار بود. در این مطالعه، دفع کسری کلسیم در جوجه‌های با کمبود والین ۳ برابر بیشتر از پرندگانی بود که از مکمل والین استفاده کرده بودند. همچنین این محققین اعلام نمودند که یک نسبت مناسب قابل دسترس اسیدآمینه‌های شاخه‌دار برای فعالیت استئوبلاستیک یا استخوان‌سازی مورد نیاز است و برهم خوردن این نسبت توسط کمبود والین می‌تواند باعث افزایش فعالیت استئوکلاستیک و تغییر شکل استخوان در گروه‌های کمبود والین گردد. اما، در مطالعه اخیر که توسط Amirdahri و همکاران(۲۰۲۰) بر روی جوجه‌های گوشتی ماده انجام شد، هیچکدام از شاخص‌های مرتبط با استخوان درشت نی توسط نسبت‌های مختلف والین : لیزین تغییر نکرد. بنابراین، نه تنها کمبود برخی یا همه اسیدآمینه‌های شاخه‌دار می‌تواند تاثیر منفی بر روی سلامت و عملکرد پرندگان داشته باشد بلکه همچنین حفظ نسبت بهینه آنها یک نقش مبرم در فعالیت متابولیکی پرندگان بازی می‌کند.

تحقیقات آینده اسیدآمینه‌های شاخه‌دار در طیور

شواهد فزاینده‌ای وجود دارد که نشان می‌دهد نفوذپذیری انتخابی مخاط روده برای مواد مغذی ممکن است در وضعیت بیماری تغییر کند و نسبت به سموم و باکتری‌های بیماریزا نفوذپذیرتر شود که می‌تواند عوارض بیشتری ایجاد نماید(Bischoff *et al.*,2014) . همچنین نفوذپذیری روده در طی چالش با سالمونلا در جوجه‌های گوشتی افزایش می‌یابد(Prado-Rebolledo *et al.*,2017). ممکن است نیاز به اسیدآمینه‌های شاخه‌دار در چنین شرایطی تغییر کند، نه تنها برای بازسازی و ترمیم یکپارچگی روده بلکه برای تکثیر سلول‌های ایمنی و ترشحات ضدمیکروبی. از آنجائی که عفونت‌های روده‌ای دفع درون‌زادی اسیدآمینه‌ها را افزایش می‌دهد و مکمل کردن اسیدآمینه‌ها برای بهبود یکپارچگی و نفوذپذیری روده ضروری است(Bortoluzzi *et al.*,2020; Castro *et al.*,2020)، تحقیقات بیشتر با اسیدآمینه‌های شاخه‌دار برای فهم چگونگی تغییر این نیازها به اسیدآمینه‌های شاخه‌دار بویژه در مرغان تخمگذار، جوجه‌های گوشتی و بوقلمون‌ها ضروری است. با توجه به استفاده از اسیدآمینه‌های شاخه‌دار در طی شرایط بیماری طیور، اینها از جمله اسیدآمینه‌هائی هستند که بیشترین کاهش را در اسهال عفونی طیور طی عفونت آیمریا دارند(Parker *et al.*,2007). کاهش سطح جذب پرز و کاهش انتقال موادمغذی از پرزهای روده طی دوره عفونت می‌تواند به کاهش قابلیت هضم اسیدآمینه‌های شاخه‌دار کمک نماید. در طی کوکسیدیوز، یکپارچگی مخاط روده تحت تاثیر قرار می‌گیرد که منجر به افزایش نفوذپذیری پاراسلولی شده و ممکن است در جذب مواد مغذی تغییرپذیری نشان دهد و بر ابقاء نیتروزن تاثیر بگذارد(Teng *et al.*,2021). اما، Rochell و همکاران (۲۰۱۶) افزایش غلظت اسیدآمینه‌های شاخه‌دار پلاسما در پاسخ به عفونت آیمریا را گزارش کردند که جالب است و نیاز به تحقیقات بیشتر برای تعیین نحوه استفاده از این اسیدآمینه‌ها در هنگام عفونت که آیا تغییر در نسبت آنها برای حیوان مفیداست یانه. همانطور که قبلا بحث شد، برای درک بهتر اثر متضاد غلظت بالای لوسین یا غلظت پلاسمائی ایزولوسین و والین آزمایشات گسترده‌ای لازم است که طیور در هر دو حالت چالش بیماری و بدون چالش در سطوح مختلف (کم تا زیاد) هریک از اسیدآمینه‌های شاخه‌دار با ثابت نگه داشتن دو اسیدآمینه دیگر تغذیه شوند. همچنین ذکر این نکته ضروریست که کاهش پروتئین خام در جیره غذائی برای کاهش تولید اسیدبوتیریک توسط میکروبیوم گزارش شده‌است و اسیدبوتیریک به عنوان سوخت برای کلنی‌ها همانند تحریک سیستم دفاع میزبان مورد استفاده قرار می‌گیرد(Hilliar *et al.*,2020). همچنین محققین اشاره کرده‌اند عفونت‌های روده‌ای تحت بالینی ناشی از عفونت همزمان با

کلستریدیوم پرفرانجس و آیمریا باعث کاهش قابلیت هضم پروتئین خام و سطح بالاتر اسیدآمینه منجر به بهبودی سریعتر چالش بیماری شد.
علاوه بر چاالش بیماری، تنش گرمائی در طیور به دلیل افزایش کاتابولیسم پروتئین ماهیچه‌ای نیاز به اسیدآمینه‌های شاخه‌دار را افزایش می‌دهد. تامین اسیدآمینه‌های شاخه‌دار باعث افزایش وزن بدن پرندگان در تنش گرمائی مزمن و کاهش درجه حرارت مقعدی در پرندگان جوان می‌شود. برای طیوری که در آب و هوای گرمسیری تولید می شوند، ارزیابی اینکه در شرایط محدودیت غذائی آیا یک جیره با چگالی بالا حاوی سطوح بالاتری از اسیدآمینه‌های شاخه‌دار در حفظ رشد پرندگان موثر است یا خوراک مصرفی کم ممکن است مقدار مواد مغذی قابل دسترس را در مقایسه با سطح توصیه شده برای پرندگان کاهش دهد. حتی نیاز برای احتیاجات اسید آمینه‌های شاخه‌دار بر اساس نوع جیره و وضعیت بیماری ارزیابی می‌شود. ممکن است مکمل کردن اسیدآمینه‌های شاخه‌دار متصل نشده نسبت به آنهائی که در ساختار مواد خوراکی به شکل متصل شده وجود دارند، به شکل متفاوتی مورد استفاده قرار گیرند. قبلا گزارش شده است که یک جیره با پروتئین خام پائین که با اسیدآمینه غنی شده باشد همانند یک جیره با پروتئین خام بالا که از طریق موادخوراکی موجود درآن اسیدآمینه و پروتئین آن تامین شده باشد،به دلیل تاثیر نامطلوب بر خوراک مصرفی عملکردخوبی ندارد(Waldroup *et al.*,2002). کنجاله سویای مورد استفاده در خوراک طیور منبع اصلی پروتئین خام ، اسیدآمینه‌های ضروری و اسیدآمینه‌های شاخه‌دار است. تکنیک‌های نامناسب عمل‌آوری، میزان فیبر ، و سطح پروتئین خام کنجاله سویا ممکن است بر روی استفاده از اسیدآمینه‌های شاخه‌دار تاثیر بگذارد. احتیاجات و توصیه‌های اسیدآمینه‌های شاخه‌دار در طی عفونت‌هائی نظیر کوکسیدیوز، سالمونلا و عفونت روده‌ای در منابع فعلی ضعیف است. تغییر در احتیاجات اسیدآمینه‌های شاخه‌دار همراه با سایر موادمغذی موضوع بحث است. ارزیابی بیشتری از اسیدآمینه‌های شاخه دار در طی چالش بیماری بر اساس درک فعلی از عملکرد سد مخاطی تخریب شده، نفوذپذیری روده، و افزایش نیاز برای اسیدآمینه توسط سیستم ایمنی برای غلبه بر عفونت پیشنهاد می‌شود در سال‌های اخیر، پرورش مرغان تخمگذار به تدریج از قفس‌های متداول به سیستم بدون قفس تغییر یافته است. انتظار می‌رود که این تغییر در محیط پرورشی باعث می شود مرغ در برابر چندین چالش بیماری نظیر کوکسیدیوز قرار گیرد. بعلاوه ، به دلیل محدودیت در مصرف آنتی‌بیوتیک‌ها در خوراک، احتیاجات برای نیاز اسیدآمینه‌های شاخه‌دار بایستی دوباره تعریف شود. به همین ترتیب، بررسی‌های بیشتری برای تعیین نسبت بهینه و سطح موردنیاز برای اسیدآمینه‌های شاخه‌دار مرغان تخمگذار مبتلا به بیماری‌های بالینی و تحت بالینی،که باعث اختلال در انتقال و جذب اسیدآمینه برای تولید تخم‌مرغ می‌شود، نیاز است.

نتیجه‌گیری

اسیدآمینه‌های شاخه‌دار ، از جمله تنظیم کنندگان کلیدی سنتز پروتئین محسوب می‌شوند، و نسبت بهینه آنها برای القاء گیرنده‌های مغذی جهت افزایش طول عمر و تمایز سلول‌های ماهیچه‌ای به منظور رشد و توسعه آنها ضروری هستند. همچنین اطلاعات تجمیعی نقش مهم اسیدآمینه‌های شاخه‌دار را در پایداری پاسخ ایمنی در طیور پررنگ می کند، اما توصیه های اخیر در مورد افزودن به جیره ممکن است در طی چالش با بیماری به دلیل محدودیت‌های جدید بر روی آنتی‌بیوتیک‌های محرک رشد، کافی نباشند. ارتباط بین نسبت اسیدآمینه‌های شاخه‌دار و تحلیل ماهیچه سینه بخوبی مورد بررسی قرار نگرفته است و نیاز به تحقیقات بعدی دارد. نقش اسیدآمینه‌های شاخه‌دار بر روی توسعه روده، انتقال مواد مغذی و میکروارگانیزم‌های دستگاه گوارش مورد بررسی قرارگرفته است، اما احتیاجات اسیدآمینه‌های شاخه‌دار بر چنین مبنائی استاندارد نشده است. در فرمولاسیون جیره‌های طیور، ترکیبات مختلف خوراک بایستی بدقت انتخاب شوندتا از نسبت مناسب اسیدآمینه‌های شاخه دار اطمینان حاصل نمود، بطوریکه ذرت و غلات خشک شده حاصل از فرآیندتخمیر و محلول آنها دارای مقادیر بالائی از لوسین نسبت به سایر اسیدآمینه‌های شاخه‌دار می‌باشد، پودر خون از نظرایزولوسین فقیر، درحالیکه کنجاله سویا و پودر گوشت و استخوان دارای نسبت متوازن‌تری از اسیدآمینه‌های شاخه‌دار هستند(NRC, 1994). بعلاوه، سطح قابل‌هضم اسیدآمینه‌ها برای محاسبه نسبت آنها بایستی بدست آید زیرا ممکن نیست که اسیدآمینه‌های باندنشده در جیره همانند اسیدآمینه‌های باندشده مورد استفاده قرار گیرند. تحقیقات بعدی مورد نیاز است تا تاثیر محدوده نسبت‌های مختلف اسیدآمینه‌های شاخه‌دار در تغذیه طیورمشخص شود به گونه‌ای که سطوح مختلف ترکیبات اصلی خوراک با مقادیر مختلف اسیدآمینه‌های شاخه‌دار بهینه گردد.

رفرانس:

Woo Kyun Kim , Amit Kumar Singh , Jinquan Wang, and Todd Applegate.2022. Functional role of branched chain amino acids in poultry: a review. Poultry Science.101 (5):1-15