فصل دوم

کربوهیدرات‌ها

هدف‌های رفتاری: در پایان این فصل فراگیر باید بتواند :
ــ ساختمان کربوهیدرات‌ها را بیان کند.
ــ تقسیم‌بندی کربوهیدرات‌ها را توضیح دهد.
ــ نقش کربوهیدرات‌ها در تغذیه را شرح دهد.
ــ منابع مورد استفاده کربوهیدرات‌ها در تغذیه را شرح دهد.

حدود $\frac{۳}{۴}$ وزن ماده خشک اکثر مواد دانه‌ای و علوفه‌ای را کربوهیدرات‌ها تشکیل می‌دهند. این دسته از مواد مغذّی، منبع اصلی تأمین انرژی در بیشتر خوراک‌های دام هستند و انرژی تولیدشده توسط آن‌ها، برای نگهداری و بقای حیوان، رشد و نمو، ساختن بافت‌های متعدد، تولیدمثل و تولید فرآورده‌های دامی مثل شیر، گوشت و تخم‌مرغ و همچنین انجام کار، مورد استفاده قرار می‌گیرد. بیشتر انرژی کربوهیدرات‌ها که بلافاصله بعد از جذب مورد استفاده قرار نمی‌گیرد، بعد از تبدیل شدن به گلیکوژن یا چربی در بدن حیوان ذخیره می‌شود تا به هنگام لزوم تجزیه شده و به مصرف برسد. تمام کربوهیدرات‌ها حاوی عناصر کربن، هیدروژن و اکسیژن هستند که در بیشتر ترکیبات آن‌ها نسبت هیدروژن و اکسیژن، شبیه نسبت این دو عنصر در آب است ($H_۲O$). همانگونه که اشاره شد، در گیاهان طی واکنش فتوسنتز، از ترکیب گازکربنیک و آب با استفاده از انرژی خورشید کربوهیدرات‌ها، تولید می‌شوند. متخصّصین علم تغذیه، این دسته از مواد مغذّی را به دو گروه تقسیم‌بندی کرده‌اند :
۱ ــ عصاره عاری از ازت ۲ ــ الیاف خام

۱ــ۲ــ عصاره عاری از ازت

عمدتاً از کربوهیدرات‌های محلول و سهل‌الهضم تشکیل یافته و منابع با ارزش انرژی برای کلیّه دام‌ها محسوب می‌شود. این گروه از کربوهیدرات‌ها شامل سه دسته تک‌قندی‌ها

(مونوساکاریدها) ودو قندی‌ها (دی ساکاریدها) و چند قندی‌های (پلی ساکاریدها) محلول هستند.

۲ــ۲ــ الیاف خام

الیاف خام شامل چند قندی‌های غیر محلول مثل سلولز و همی سلولز و همچنین لیگنین است. این الیاف به عنوان اجزاء اصلی در ساختمان دیواره سلول‌های گیاهی مشارکت دارند و با رشد گیاه میزان نسبی ترکیبات این گروه در ساقه و برگ، افزایش می‌یابد.

تک قندی‌ها: ساده‌ترین قندها هستند که بسته به تعداد کربن در ملکول خود به زیر دسته‌های مختلفی تقسیم می‌شوند. از مهمترین این زیر دسته، این موارد را می‌توان نام برد: ترایوزها با فرمول کلی $C_3H_6O_3$ مثل گلیسر آلدئید و دی‌هیدروکسی اَستِئُن، تتروزها با فرمول کلی $C_4H_8O_4$ مثل اریتروز، پنتوزها با فرمول کلی $C_5H_{10}O_5$ مثل رایبوز و آرابینوز و هگزوزها با فرمول کلی $C_6H_{12}O_6$ مثل گلوکز، فروکتوز و گالاکتوز.

فراوانترین تک قندی‌ها در طبیعت، پنتوزها و هگزوزها هستند. پنتوزها در بسیاری از ترکیبات بدن و خوراک‌ها موجودند. به عنوان مثال: دــ رایبوز در تمام سلول‌های زنده موجودات به عنوان جزئی از ترکیبات مهم سلولی (RNA) وجود دارد، همچنین نقش‌های مهمی در ساختار چند ویتامین و کوآنزیم، به عهده دارد. از هیدرولیز مواد علوفه‌ای توسط اسید سولفوریک، مقادیر زیادی از دو پنتوز دیگر (زایلوز و آرابینوز) تولید می‌شود. این قندها در بسیاری از موارد، اجزای اصلی تشکیل دهنده ترکیبات الیاف خام هستند. بیشترین مقدار قندهای موجود در طبیعت از گروه هگزوزها هستند و بعضی از اعضای این گروه چه به عنوان جزئی از اجزای تشکیل دهنده خوراک و چه به عنوان فرآیند متابولیسم در بدن، نقش‌های اساسی در تغذیه به عهده دارند. هگزوزها دارای نمونه‌های طبیعی فراوانند:

گلوکز: گلوکز در طبیعت به حالت آزاد در شیره گیاهان و در میوه‌ها موجود است و در حدود ۴۰٪ از قند عسل را تشکیل می‌دهد. همچنین در خون و مایع مغزی نخاعی نیز یافت می‌شود. جزء تشکیل دهنده نشاسته، گلیکوژن و سلولز است و تولید تجارتی آن از هیدرولیز انواع نشاسته به دست می‌آید. در دام‌های تک معده‌ای و انسان، محصول اصلی هضم کربوهیدرات‌هاست و به عنوان عمده‌ترین منبع انرژی، مورد مصرف متابولیسم بدن قرار می‌گیرد.

فروکتوز: فروکتوز از شیرین‌ترین قندهاست. این قند به همراه گلوکز در دو قندی ساکاروز نیز

به حالت آزاد در بسیاری از گیاهان سبز، میوه‌ها و عسل، یافت می‌شود. مزه شیرین و استثنایی عسل به علت وجود مقدار زیاد فروکتوز است.

گالاکتوز: گالاکتوز از جمله تک‌قندی‌هایی است که در طبیعت به صورت آزاد یافت نمی‌شود. ولی در اثر تجزیه برخی ترکیبات توسط مخمّرها ، تولید می‌شود. گالاکتوز به عنوان جزئی از قند شیر یا لاکتوز در غُدَد پستانی و به عنوان یکی از ترکیبات شیر، ساخته می‌شود.

مانوّز: مانوّز نیز به‌حالت آزاد در طبیعت یافت نمی‌شود. مانوّز به‌صورت پلیمر «مانّان»که یکی از پلی‌ساکاریدهای مهم گیاهی و نیز به عنوان یکی از اجزای تشکیل دهنده گلیکوپروتئین‌ها یافت می‌شود. در ساختمان بدن بسیاری از کپک‌ها، مخمّرها و باکتری‌ها، به صورت پلی‌مر مانّان‌وجود دارد.

دوقندی‌ها یا دی‌ساکاریدها: از ترکیب دو ملکول تک قندی شش کربنی یک دو قندی، به وجود می‌آید. در این واکنش یک ملکول آب آزاد می‌شود.

$$۲(C_۶H_{۱۲}O_۶) \rightarrow C_{۱۲}H_{۲۲}O_{۱۱} + H_۲O$$

و بنابراین، فرمول کلی دو قندی‌ها $C_{۱۲}H_{۲۲}O_{۱۱}$ است. این ترکیبات به نسبت‌های مختلف در آب محلولند. از مهمترین آن‌ها می‌توان ساکاروز (قند یا شکر معمولی)، لاکتوز (قند شیر)، مالتوز (قند محلول دانه‌های غلات) و سلوبیوز (دو قندی تشکیل دهنده سلولز) را نام برد.

نوع تک قندی و وضعیت اتصال آن‌ها برای تشکیل یک دو قندی، قابلیت حل و میزان حل شدن آن را در آب مشخص می‌کند. مالتوز و سلوبیوز هر دو از دو ملکول گلوکز متصل به یکدیگر، تشکیل شده‌اند.

اختلاف این ترکیبات، در پیوند بین ملکول‌های گلوکز است که در دو قندی مالتوز به آسانی شکسته شده و بنابراین، به راحتی در آب حل می‌شود و مزه آن نیز شیرین است. در صورتی که در دوقندی سلوبیوز، این پیوند شکسته نشده و در آب غیرمحلول است.

ساکاروز: ساکاروز یکی از مهمترین دو قندی‌هاست و از یک ملکول گلوکز و یک ملکول فروکتوز تشکیل شده است. در طبیعت، در نیشکر و چغندر قند به میزان زیاد وجود دارد و در صنعت از این منابع برای تهیه و تولید قند و شکر معمولی استفاده می‌کنند. این دو قندی همچنین در میوه‌های رسیده، شیره بعضی درختان، بسیاری از میوه‌ها، سبزی‌ها و بعضی از ریشه‌های غده‌ای مثل هویج و چغندر علوفه‌ای یافت می‌شود. ساکاروز با اسیدهای رقیق یا آنزیم ساکاراز، هیدرولیز شده، به اجزای تشکیل دهنده خود تجزیه می‌شود.

مالتوز: از دیگر دو قندی‌های مهم است که از دو ملکول گلوکز تشکیل یافته و به قند جو یا قند مالت هم معروف است. مالتوز در طبیعت در زمان جوانه‌زدن دانه جو تولید می‌شود. به بذر جو پس از جوانه‌زدن و خشک شدن «مالت» می‌گویند. مالتوز در اثر هیدرولیز به دو ملکول گلوکز، تجزیه می‌شود.

لاکتوز: لاکتوز، قند شیر است و از یک ملکول گلوکز و یک ملکول گالاکتوز تشکیل می‌شود. محل تشکیل و تولید آن در غدد پستانی حیوانات شیرده است و شیرینی آن از ساکاروز کمتر و قابلیت حل آن در آب نیز از ساکاروز کمتر است. این دو قندی در اثر آنزیم لاکتاز و یا اسیدهای رقیق به اجزای تشکیل دهنده‌ی خود، تجزیه می‌شود. همچنین توسط تعدادی از میکروارگانیسم‌ها مثل استرپتوکوکوس لاکتیس می‌تواند به اسید لاکتیک تبدیل شود. در حقیقت، این همان واکنش تخمیری است که باعث ترش شدن شیر می‌شود.

سلوبیوز: سلوبیوز به صورت آزاد در طبیعت وجود نداشته و فقط به صورت پلیمر گلوکز درساختمان یکی از اجزای تشکیل‌دهنده الیاف گیاهی (سلولز) یافت می‌شود. آنزیم‌های میکروبی یا قارچی می‌توانند پلیمر سلولز را به اجزای تشکیل دهنده آن تجزیه کنند، این عمل در آزمایشگاه توسط اسیدها نیز ممکن است و در اثر هیدرولیز آن، گلوکز تولید می‌شود. سلوبیوز خواصی نظیر مالتوز دارد، اما شیرینی آن از مالتوز بسیار کمتر است.

چند قندی‌ها یا پلی‌ساکاریدها: ساختمان این چند قندی‌ها از سه تک‌قندی یا بیشتر تشکیل یافته که به صورت پلیمرهایی با وزن ملکولی زیاد در طبیعت یافت می‌شوند. اگرچه بیشتر چند قندی‌ها از تعداد زیادی واحدهای پنتوز و هگزوز تشکیل یافته‌اند، اما سه قندی و چهار قندی‌های معروفی نیز در طبیعت وجود دارند. مثلاً رافینوز که از اتحاد سه ملکول قند شش کربنی گلوکز، فروکتوز و گالاکتوز به وجود می‌آید، در حین تهیه تجارتی ساکاروز از ملاس، تشکیل و جمع می‌شود. چند قندی‌ها به‌دو دسته عمده تقسیم‌می‌شوند : چند قندی‌های همگن یا هموپلی ساکاریدها و چند قندی‌های ناهمگن یا هتروپلی ساکاریدها. این تقسیم بندی، بر اساس همگن یا ناهمگن بودن واحدهای تشکیل دهنده چند قندی انجام شده است. به این معنی که چنانچه یک چند قندی مانند استاکیوز از واحدهای متفاوتی تشکیل شده باشد (گلوکز + فروکتوز+۲ ملکول گالاکتوز)، آن را چند قندی ناهمگن می‌گویند. اما چنانچه یک چند قندی مانند آمیلوز از واحدهای مشابه تشکیل شده باشد، (پلیمر گلوکز) آن را چند قندی همگن می‌نامند.

چند قندی‌های همگن (هموپلی ساکاریدها): کربوهیدرات‌هایی هستند که با تک‌قندی‌ها و دو قندی‌ها تفاوت دارند. دارای وزن ملکولی زیاد هستند و از تعداد زیادی قندهای پنج کربنی (پنتوزها) و یا

قندهای شش کربنی (هگزوزها) تشکیل شده‌اند که به صورت پلیمر در طبیعت وجود دارند. چندقندی‌های همگن شیرین نبوده و غالباً در آب غیر محلولند و تحت تأثیر اسیدها و یا آنزیم‌های دستگاه گوارش هیدرولیز شده، ابتدا به ترکیبات واسطه‌ای و سپس به واحدهای تشکیل دهنده خود که همان تک قندی‌هاست، تجزیه می‌شوند. این کربوهیدرات‌ها به شکل ذخیره غذایی مانند نشاسته و یا پایه ساختمانی مانند سلولز در گیاهان وجود دارند. مهمترین چند قندی‌های همگن عبارتند از :

نشاسته: از جمله مهمترین مواد ذخیره‌ای بیشتر گیاهان نشاسته است که عمدتاً در غده‌ها، ریزوم‌ها، میوه‌ها و دانه‌های گیاهان یافت می‌شود. دو شکل نشاسته وجود دارد : آمیلوز و آمیلوپکتین که اگرچه هر دو خود از چند قندی‌های همگن هستند، اما از نظر ساختمان با یکدیگر متفاوتند. آمیلوز پلیمری با زنجیره ساده از ملکول‌های گلوکز است که در آب داغ محلول بوده و میزان آن در نشاسته ذخیره‌ای گیاهان با رسیدن دانه، افزایش می‌یابد. در صورتی که آمیلوپکتین که یک پلی‌مر شاخه‌دار گلوکز است، حتی در آب داغ هم حل نمی‌شود. در قسمت‌های مختلف گیاهان، نشاسته به صورت دانه‌های کوچکی ظاهر می‌شود که اندازه و شکل آن‌ها بسته به نوع گیاه متغیر است. در میوه‌های در حال رسیدن، نشاسته به قند گلوکز تجزیه می‌شود. نشاسته در اثر حرارت مرطوب به ملکول‌های چسبنده بلورین شبیه به ژلاتین، تبدیل می‌شود و در اثر هیدرولیز ابتدا به دکسترین سپس به مالتوز و سرانجام به گلوکز تجزیه می‌شود.

گلیکوژن: به نوعی چند قندی همگن اطلاق می‌شود که دارای فرمول ساختمانی پرشاخه بوده و در بدن حیوانات و میکروارگانیسم‌ها ساخته می‌شود. گلیکوژن نیز مانند نشاسته پلی‌مری از گلوکز است که چون ساختمان آن به آمیلوپکتین شباهت دارد، به آن نشاسته حیوانی نیز می‌گویند. گلیکوژن در بدن حیوانات ذخیره شده و از نظر تأمین انرژی نقش مهمی دارد. از تجزیه آن، گلوکز حاصل می‌شود. محل ذخیره شدن این چند قندی در بدن در بافت‌های کبدی و عضلانی است.

سلولز: فراوانترین ماده درساختمان گیاهان است که عمدتاً در دیواره سلول‌ها یافت می‌شود. از نظر شیمیایی، سلولز پلی مری از واحدهای سلوبیوز است.

سلولز در اثر عملکرد اسیدهای قوی هیدرولیز شده به واحدهای گلوکز، تجزیه می‌شود. پنبه نمونه‌ای از سلولز خالص است. آنزیم‌های دستگاه گوارش پستانداران تک‌معده‌ای قادر به شکستن سلولز نیستند و به همین دلیل قابلیت هضم آن در اینگونه حیوانات بسیار کم است. اما بعضی از باکتری‌ها مخصوصاً باکتری‌های شکمبه دام‌های نشخوار کننده و حتی برخی از قارچ‌ها، زنجیره سلولز را شکسته، آن را هضم می‌کنند و از این عمل موادی نظیر اسیدهای چرب فرّار و گاز متان، تولید می‌شود.

چند قندی‌های ناهمگن یا هتروپلی ساکاریدها: برخلاف چند قندی‌های همگن که همه‌ی زنجیره ملکولی را یک نوع تک قندی تشکیل می‌دهد، در این چند قندی‌ها، زنجیره شامل انواع تک‌قندی‌هاست و به همین علت به این دسته از کربوهیدرات‌ها، چند قندی‌های مخلوط نیز گفته می‌شود. این چند قندی‌ها عمدتاً نقش ساختمانی و حفاظتی گیاه را به عهده دارند و از مهمترین آن‌ها همی‌سلولز، پکتین و لیگنین را می‌توان نام برد.

همی سلولز: به گروهی از چند قندی‌های مخلوط گفته می‌شود که به همراه سلولز در ساختمان قسمت‌های مختلف گیاه یافت می‌شوند. همی سلولز در محلول‌های رقیق اسیدی و قلیایی تا حدود زیادی قابل حل بوده و کلاً مقاومتی کمتر از سلولز در مقابل تجزیه شیمیایی از خود نشان می‌دهد. ساختمان همی سلولز را پلیمری از انواع گوناگون تک قندی‌ها تشکیل می‌دهد. از جمله این تک قندی‌ها، گلوکز، زایلوز، مانوز، آرابینوز، گالاکتوز و حتی برخی از ترکیبات نادر کربوهیدراته را می‌توان نام برد.

پکتین: یا مواد پکتیکی در بین دو جدار دیواره‌های سلول‌های گیاهی به وفور یافت می‌شود که در آب به صورت ژل درمی‌آید و خواص ژلاتینی زیادی دارد که در صنایع غذایی از آن استفاده می‌شود. آنزیم‌های مترشّحه دستگاه گوارش دام‌های تک معده‌ای قادر به هیدرولیز زنجیره مواد پکتیکی نیست و فقط در خوراک دام‌های نشخوار کننده و با فعالیت میکروارگانیسم‌های شکمبه، تجزیه شده و مورد استفاده دام قرار می‌گیرد. اگرچه در دام‌های تک‌معده‌ای کاربردهایی نظیر جذب آب دارد. این مواد در پوست میوه‌ها و تفاله چغندر قند به مقدار زیاد وجود دارد.

لیگنین: این ماده را به علت اینکه از نظر فرمولی با بقیه کربوهیدرات‌ها متفاوت است، یک کربوهیدرات واقعی نمی‌دانند و در حقیقت اصطلاح لیگنین به یک ترکیب خاص اطلاق نمی‌شود، بلکه لیگنین شامل یک رشته از ترکیباتی است که با وزن ملکولی زیاد توسط پیوندهای مختلف شیمیایی، به یکدیگر وابسته‌اند.

قسمت اعظم مواد تشکیل دهنده لیگنین، ترکیبات (فنولیک) است که به صورت پلیمر وجود دارند. لیگنین به همراه سلولز، همی سلولز و سایر هتروپلی ساکاریدها در جدار سلول‌های گیاهی وجود دارد و باعث استقامت گیاه می‌شود. بیشترین مقدار لیگنین را می‌توان در قسمت‌های چوبی گیاه یافت که به عنوان ماده چوب هم از آن نام برده می‌شود. این ماده به علت ساختمان شیمیایی خاص خود در دستگاه گوارش همه دام‌ها غیر قابل هضم است و در شکمبه نشخوارکنندگان با اتصال به سلولز، همی‌سلولز و حتی، سایر مواد مغذّی باعث کاهش قابلیت هضم کلی مواد خوراکی حاوی آن می‌شود. میزان لیگنین در گیاهان جوان، کم و با افزایش سنّ گیاه، زیاد می‌شود.

۳ــ۲ــ نقش کربوهیدرات‌ها در تغذیه و متابولیسم

کربوهیدرات‌ها، یکی از مهمترین منابع تأمین انرژی و حرارت در بدن حیوانات است. این ترکیبات به‌عنوان پایه‌های ساختمانی برای‌سایر مواد مغذّی مورداستفاده بدن قرارمی‌گیرند و برهمین اساس برخی از کربوهیدرات‌ها در بدن دام وظایف خاصی را به عهده دارند. مثلاً به عنوان جزئی از مواد بافت استخوان، غضروف‌ها، بافت‌های پیوندی و بافت‌های مخاطی در بدن، ایفای نقش می‌کنند. همچنین برای اینکه بدن دام بتواند فعالیت و وظایف خود را بخوبی انجام دهد، باید مقدار قند خون آن تقریباً ثابت باشد.

۴ــ۲ــ هضم و جذب و متابولیسم کربوهیدرات‌ها

الف ــ در دام‌های تک معده‌ای: همانگونه که در ابتدای این بخش اشاره شد، کربوهیدرات‌ها به دو دسته الیاف خام و عصاره عاری از ازت تقسیم می‌شوند. الیاف خام که خود شامل سلولز، همی‌سلولز و لیگنین است یا کلاً هضم نشده و یا در برخی از گونه‌های دام تک معده‌ای بسیار کم هضم می‌شوند. اما دسته دوم (عصاره عاری از ازت) که شامل کربوهیدرات‌های محلول هستند، سریع و به‌طور کامل هضم می‌شوند. عمل هضم، تحت تأثیر آنزیم‌های گوارشی در قسمت‌های مختلف دستگاه گوارش و طی مراحل گوناگون انجام می‌گیرد. در هر قسمت از دستگاه گوارش، تغییرات جزئی و یا کلی توسط شیره گوارشی آن قسمت بر روی کربوهیدرات‌ها به وجود می‌آید تا این مواد پیچیده را به ملکول‌های ساده‌تر و نهایتاً به تک قندی‌ها تبدیل کند. تشکیل تک قندی‌ها از دو قندی‌ها، در سطح مخاط روده صورت می‌پذیرد که پس از آن به درون سلول‌های روده انتقال یافته و از طریق سیاهرگ کبدی به کبد وارد می‌شود و در متابولیسم بدن مورد استفاده قرار می‌گیرد. بدن از متابولیسم این مواد به سه صورت استفاده می‌کند : اول به صورت منبع انرژی برای تأمین سریع نیازهای فوری دام، دوم به صورت پیش ماده برای ساخت گلیکوژن کبدی و ماهیچه‌ای و سرانجام به عنوان پیش‌ماده برای ساخت تری‌گلیسرید مورد نیاز بافت‌های بدن.

ب ــ در دام‌های نشخوار کننده: در اینگونه دام‌ها که دارای معده چهار قسمتی هستند، روش هضم با دام‌های تک معده‌ای متفاوت است. غذا پس از بلع وارد محفظه‌ای به نام شکمبه می‌شود که شرایط بی‌هوازی آن و وجود میکروارگانیسم‌های متعدد باعث تخمیر غذا می‌شوند. این غذا که به هنگام بلع با مقدار زیادی بزاق مخلوط می‌شود، دستخوش تغییرات فیزیکی و شیمیایی گسترده‌ای می‌شود. به این معنی که خرد شدن آن باعث می‌شود تا تجزیه شیمیایی آن که توسط آنزیم‌های باکتریایی ترشح می‌شود، بهتر صورت پذیرد. شکسته و تجزیه شدن الیاف خام توسط میکروارگانیسم‌های شکمبه،

مهمترین تفاوت نشخوارکنندگان با دام‌های تک معده‌ای در گوارش مواد خوراکی است. تخمیر بی‌هوازی کربوهیدرات‌ها، باعث تولید مقادیر زیادی از اسیدهای چرب فرّار اسیدهای آلی و گازهای کربنیک و متان می‌شود. از مهمترین اسیدهای چرب، اسید استیک، اسید پروپیونیک و اسید بوتیریک است که نسبت تولید آن‌ها بسته به نوع خوراک دام متغیر است و بعضی به میزان‌های مختلف از دیواره شکمبه جذب شده، مستقیماً وارد خون می‌شوند. همچنین از اسیدهای آلی، اسید لاکتیک را می‌توان نام برد که در اثر تخمیر کربوهیدرات‌های محلول خوراک به میزان‌های متفاوت در شکمبه تولید می‌شوند.

قندهای ساده حاصل از هضم اولیه کربوهیدرات‌ها در شکمبه، به سرعت به وسیله میکروارگانیسم‌ها جذب شده و در داخل بدن آن‌ها مصرف می‌شوند و به همین علت قندهای ساده در شیرابه شکمبه به ندرت قابل تشخیص هستند. میکروارگانیسم‌ها انرژی لازم برای تکثیر خود را از مواد خوراکی تأمین کرده و حاصل متابولیسم آن‌ها، مورد استفاده میزبان (دام) قرار می‌گیرد. نکته مهم این است که سلولز قبل از تخمیر برای نشخوارکنندگان، مستقیماً ارزش غذایی ندارد، ولی موادی که در اثر تجزیه آن حاصل می‌شود، مورد استفاده دام قرار می‌گیرد.

۵ــ۲ــ منابع کربوهیدرات‌ها در تغذیه دام

کلیه غذاها با منشأ گیاهی، منابع غنی کربوهیدرات‌ها هستند که به اشکال مختلف به مصرف دام می‌رسند. البته مقدار و نوع کربوهیدرات‌ها در گیاهان مختلف متفاوت است. به همین دلیل بعضی از آن‌ها برای تأمین نیاز یک نوع دام دارای اهمیت بیشتری و برای دام دیگر، کمتر مهم هستند. مثلاً در دام‌های نشخوار کننده، علوفه‌های خشبی جزء مهمی از خوراک بوده ولی در طیور مواد دانه‌ای اصل خوراک را تشکیل می‌دهد.

فعالیت عملی ۱: مشاهده نحوه تعیین عصاره عاری از ازت و الیاف خام در آزمایشگاه تجزیه مواد خوراکی و مقایسه نتایج

۱ــ در آزمایشگاه تجزیه مواد خوراکی نحوه تعیین عصاره عاری از ازت و الیاف خام را مشاهده و از مراحل آزمایش گزارش تهیه نمایید.

۲ــ اعداد به‌دست آمده از آزمایش فوق را با اعداد موجود در جدول مشخصات مواد خوراکی مقایسه و نتیجه‌گیری خود را به صورت گزارش ارائه نمایید.

فعالیت عملی ۲: تشخیص منابع کربوهیدرات در تغذیه دام و طیور

از انبار مواد خوراکی گاوداری یا مرغداری بازدید به عمل آورده و منابع تأمین‌کننده کربوهیدرات را به تفکیک عصاره عاری از ازت و الیاف خام مشخص نمایید.

خودآزمایی

۱ ــ مواد عاری از ازت چه خصوصیاتی دارند؟
۲ ــ فراوانترین تک قندی‌های موجود در طبیعت را نام ببرید.
۳ ــ هگزوزهای مهم در بدن کدامند؟
۴ ــ عمده‌ترین منبع انرژی بدن تک‌معده‌ای‌ها کدام قندها است؟
۵ ــ نتیجه تجزیه ساکاروز چه نوع قندهایی است؟
۶ ــ قند مهم شیر چه قندی بوده و در اثر تجزیه به چه تک قندی‌هایی تبدیل می‌شود؟
۷ ــ دو اسید چرب فرار که در شکمبه در اثر تخمیر ایجاد می‌شود را نام ببرید.

فصل سوم

لیپیدها

هدف‌های رفتاری: در پایان این فصل فراگیر باید بتواند :
ــ لیپیدها را تعریف کند.
ــ ساختمان لیپید را شرح دهد.
ــ تقسیم‌بندی لیپیدها رابیان کند.
ــ نقش لیپیدها را در تغذیه توضیح دهد.
ــ منابع مورد استفاده لیپیدها را در تغذیه شرح دهد.

در بافت‌های گیاهی و حیوانی نوعی از ترکیبات آلی وجوددارد که لیپید نامیده می‌شوند. این ترکیبات در آب محلول نیستند امّا در بعضی حلال‌های آلی (مانند کلروفرم، اتر) محلولند. چربی‌ها از مهمترین اعضای گروه لیپیدها هستند. به طوری که مقدار زیادی از لیپیدهای موجود در بدن حیوانات و خوراک آن‌ها را شامل می‌شوند. امّا لیپیدهای دیگر به غیر از چربی‌ها در این گروه وجود دارند که نقش‌های کلیدی در تغذیه و فیزیولوژی دارند. چربی‌ها نیز شبیه کربوهیدرات‌ها در ساختمان خود دارای کربن ــ هیدروژن و اکسیژن هستند ولی مقدار کربن و هیدروژن آن‌ها زیادتر است. در ساختمان بعضی از لیپیدها ازت و فسفر نیز یافت می‌شود. لیپیدها جزئی ازمواد تشکیل دهنده‌ی سلول هستند که عمدتاً در ساختمان غشاء سلول حیوانی، نقش دارند. همچنین در بدن از نظر تولید انرژی حائز اهمیّت هستند.

۱ــ۳ــ تقسیم‌بندی لیپیدها

لیپیدها را به سه دسته عمده تقسیم‌بندی می‌کنند :

۱ــ۱ــ۳ــ لیپیدهای ساده: از واکنش استری[۱]، اسیدهای چرب و الکل‌ها تولید می‌شوند مانند چربی‌ها و موم‌ها.

۱ــ واکنش بین گروه الکلی گلیسرول و گروه اسیدی اسید چرب را واکنش استری گویند.

چربی‌ها: چربی‌ها از واکنش استری الکل سه ظرفیتی گلیسرین (گلیسرول) با اسیدهای چرب تشکیل می‌شوند. سه گروه هیدروکسیل گلیسرین می‌تواند با یک، دو و یا سه اسید چرب مشابه و یا مختلف جایگزین شوند که اگر گلیسرین با یک اسید چرب ترکیب شود، منوگلیسرید، با دواسید چرب دی‌گلیسرید وباسه اسیدچرب تری‌گلیسرید، تولید می‌کند.

سه ملکول آب + تری گلیسرید $\rightarrow$ ۳ اسید چرب + گلیسرول

۲ــ۱ــ۳ــ لیپیدهای مرکب: از واکنش استری دیگر گروه‌های شیمیایی با اسیدهای چرب و الکل به دست می‌آیند. مثل فسفولیپیدها، گلیکولیپیدها و لیپو پروتئین‌ها

فسفو لیپیدها: از مهمترین لیپیدهای مرکب هستند که در ساختمان خود اسیدفسفریک و بازهای ازته دارند.

فسفولیپیدها در بدن عمدتاً نقش حفاظتی دارند. مثلاً به عنوان جزئی از مواد تشکیل دهنده غشاءهای سلولی و نیز پوشش غلاف خارجی سلول‌های عصبی، همچنین در تولیدات حیوانی مثل تخم‌مرغ و نیز در گیاهان موجود است. از مهمترین فسفولیپیدها می‌توان از لستین، سفالین نام برد.

۳ــ۱ــ۳ــ مشتقات لیپیدها: از هیدرولیز لیپیدهای ساده و مرکب به دست می‌آیند. مثل اسیدهای چرب و استرول‌ها.

اسیدهای چرب: این ترکیبات مواد اصلی تشکیل دهنده‌ی همه‌ی لیپیدها است که برحسب نوع ساختمان و طول زنجیره‌شان خواص فیزیکی متفاوتی به لیپیدها می‌دهند.

تعداد کربن در اسیدهای چرب از دو شروع و تا چندین کربن‌می‌رسد. از نظر ساختمانی، اسیدهای چرب به دو شکل وجود دارند : اسیدهای چرب اشباع و اسیدهای چرب غیر اشباع. اسیدهای چرب اشباع از زنجیره‌ای از کربن تشکیل یافته‌اند که به هر اتم کربن دو اتم هیدروژن متصل است و نهایتاً زنجیره به یک گروه کربوکسیل[۱] منتهی می‌شود. مثل اسید بیوتریک.[۲]

اسیدهای چرب غیر اشباع در زنجیره کربنی خود یک یا بیشتر اتصالات دوگانه دارند و این پیوندها بین هر زوج کربن با از دست دادن یکی از اتم‌های هیدروژن هر کربن تشکیل می‌شوند. مثل اسید اولئیک.[۳]

---

۱ ــ گروه کربوکسیل به صورت ($-COOH$) نشان داده می شود.

۲ ــ اسیدبوتیریک به فرمول ($C_4H_8O_2$) و $H-\underset{H}{\overset{H}{C}}-\underset{H}{\overset{H}{C}}-\underset{H}{\overset{H}{C}}-COOH$ است

۳ ــ اسید اولئیک به فرمول ($C_{18}H_{34}O_2$) $CH_3-(CH_2)_7-\underset{}{\overset{H}{C}}=\underset{}{\overset{H}{C}}-(CH_2)_7-COOH$

این تفاوت ساختمانی اسیدهای چرب اشباع و غیراشباع، خواص فیزیکی آن‌ها را نیز متفاوت می‌کند. به صورتی که نقطه‌ی ذوب اسیدهای چرب غیر اشباع پایین‌تر است و از نظر شیمیایی فعّالترند. در اوایل قرن اخیر محققین ثابت کردند که وجود برخی از اسیدهای چرب در خوراک روزانه‌ی دام‌ها، ضروری است. به طوری که اگر این ترکیبات در خوراک موجود نباشد، حیوان دچار عوارض متعدد می‌شود. بسیاری از دام‌های تک معده‌ای ظاهراً یا نمی‌توانند این اسیدهای چرب را در بدن خود بسازند و یا اینکه مقدار ساخته شده برای پیشگیری از بروز ناهنجاری‌های حاصل از کمبود آن‌ها کافی نیست که در نتیجه باید به جیره غذایی روزانه اضافه شود. به همین جهت آن‌ها را اسید چرب ضروری نامیده‌اند. این ترکیبات عبارتند از : اسید لینولئیک،اسید لینولنیک و اسید آراشیدونیک. اسید آراشیدونیک در بدن پستانداران ممکن است از اسید لینولئیک ساخته شود و اگر اسید لینولئیک درجیره غذایی نبوده و یا به اندازه کافی نباشد، به لحاظ نیاز بدن باید اسید آراشیدونیک به جیره غذایی اضافه شود.

دانه‌های روغنی و کنجاله‌های آن‌ها، دارای مقدار زیادی از انواع اسیدهای چرب ضروری هستند. نشخوارکنندگان که برای تأمین نیازهای غذایی خود تا حدزیادی به انواع علوفه متکی هستند، از طریق مصرف آن‌ها مقادیر قابل توجهی از اسیدهای چرب ضروری را دریافت می‌کنند. میکروارگانیسم‌های شکمبه در تولید این نوع اسیدهای چرب، نقش دارند.

استرول‌ها: الکل‌های غیراشباع جامدی هستندکه انواع مختلف دارند. از مهمترین استرول‌های حیوانی کلسترول است و یکی از اجزای مهم تشکیل دهنده سلول‌ها به شمار می‌رود. جزء مهمی از بافت مغز را تشکیل می‌دهد. بدن دام می‌تواند این ماده را به اندازه کافی بسازد و یکی از ترکیبات آن به نام «دی‌هیدروکلسترول» پیش ماده ویتامین D به شمار می‌رود که تحت تأثیر اشعه‌ی ماوراء بنفش این ویتامین را تولید می‌کند.

۲ــ۳ــ نقش لیپیدها در تغذیه و متابولیسم

لیپیدها در بدن به اشکال گوناگون انجام وظیفه می‌کنند و مثل کربوهیدرات‌ها در بدن تولید انرژی می‌کنند، همچنین به صورت ترکیب با مواد دیگر در ساختمان سلول‌ها، دخالت دارند. اهمیت بیولوژیکی لیپیدها به علت وظایفی است که در متابولیسم بدن به عهده آن‌ها واگذار شده است. مواد انرژی‌زای زیادتر از حد نیاز موجود در بدن به چربی تبدیل شده و ذخیره می‌شود. در شرایط کمبود غذایی، چربی ذخیره‌ای مجدداً تجزیه و برای تأمین انرژی مورد نیاز مصرف می‌شود. لیپیدها در مقابل گرما و سرما برای بدن به صورت عایق عمل کرده و محافظت اعضاء حساس بدن (داخلی و

خارجی) را نیز عهده‌دار هستند. چربی‌ها در حفظ و انتقال و جذب ویتامین‌های محلول در چربی نیز ایفای نقش می‌کنند.

لیپیدها به شکل لیپوپروتئین‌ها در ساختمان غشاء سلولی نیز وظایف عمده به عهده دارند، در خوراک دام‌ها یکی از منابع مهم تولید انرژی بوده که به طور نسبی در حدود ۲/۲۵ برابر بیشتر از کربوهیدرات‌ها انرژی تولید می‌کنند و اضافه کردن آن به خوراک، بازده غذایی (اضافه وزن به دست آمده نسبت به خوراک مصرف شده) را افزایش می‌دهد و بالاخره از دیگر عملکردهای لیپیدها، تأمین اسیدهای چرب ضروری برای بدن است.

هضم ، جذب و متابولیسم لیپیدها:

الف ــ دردام‌های تک معده‌ای :به طور کلّی قابلیت هضم چربی‌ها زیاد است، اما در معده، تغییر چندانی بر روی آن‌ها انجام نمی‌گیرد، بلکه هضم چربی‌ها کلاً در روده باریک است. چربی‌ها که عمدتاً به صورت ملکول‌های بزرگ تری‌گلیسرید به روده‌ی باریک رانده می‌شوند، دراثر عملکرد املاح صفراوی امولسیونه شده و تحت تأثیر آنزیم‌های چربی شکن (لیپازهای ترشح شده از لوزالمعده و روده)، هیدرولیز می‌شود. محصول نهایی تجزیه چربی‌ها،مخلوطی ازمیسل‌ها است که شامل مونوگلیسرید، دی‌گلیسرید،اسیدهای چرب مختلف واملاح‌صفراوی است. این میسل‌ها به قسمت جداری روده رانده شده و در آنجا به اجزاء تشکیل دهنده خود، تجزیه می‌شوند. مونوگلیسریدها و اسیدهای چرب جذب شده و قبل از آنکه به مجاری لنفاوی راه یابند، دومرتبه به صورت تری‌گلیسرید درمی‌آیند و سرانجام به جریان عمومی خون می‌پیوندند.

میزان هضم و جذب چربی‌ها به چند عامل بستگی دارد : طول زنجیره اسیدهای چرب، درجه اشباع بودن و میزان اسیدهای چرب اشباع در چربی و همچنین نقطه ذوب چربی‌ها، همه در این فرآیند مؤثرند. هر قدر طول زنجیره اسیدهای چرب در چربی‌ها کوتاهتر باشد و هر قدر میزان اسیدهای چرب اشباع نشده در چربی‌ها بیشتر باشد، نقطه‌ی ذوب آن‌ها نیز پایین‌تر خواهد بود و طبیعتاً بهتر هضم و جذب می‌شوند. سایر مواد مغذّی جیره غذایی مانند میزان پروتئین کلسیم و غیره نیز تا اندازه‌ای در قابلیت هضم چربی‌ها مؤثرند.

ب ــ در دام‌های نشخوارکننده: تری‌گلیسریدها که قسمت اعظم ترکیبات لیپیدی خوراک نشخوارکنندگان را تشکیل می‌دهند، خود حاوی مقادیر نسبتاً زیادی از اسیدهای چرب غیر اشباع و از جمله اسیدهای چرب ضروری لینولئیک و لینولنیک هستند. آنزیم‌های چربی شکن یا لیپازهای باکتریایی، این تری‌گلیسریدها را هیدرولیز کرده، اسیدهای چرب آن‌ها را آزاد می‌کند. از طرفی به علت بی‌هوازی بودن محیط شکمبه و بالا بودن میزان هیدروژن، اسیدهای مزبور هیدروژنه و یا به

عبارت دیگر اشباع شده و نهایتاً به اسید استئاریک و دیگر اسیدهای چرب اشباع تبدیل می‌شوند. میکروارگانیسم‌های شکمبه نیز به نوبه خود لیپیدهای متنوعی ساخته و به همراه اسیدهای چرب با زنجیره طویل به روده باریک می‌فرستند. اسیدهای چرب دارای زنجیره کوتاه، در شکمبه جذب می‌شوند. ولی اسیدهای چرب زنجیره بلند، از شکمبه جذب نشده و برای تغییرات بیشتر به روده باریک رانده می‌شوند. جذب اینگونه اسیدهای چرب در نشخوار کنندگان بستگی مستقیم به میزان فسفولیپیدهای موجود در املاح صفراوی ترشح شده در روده دارد.

۳ــ۳ــ ذخیره سازی چربی

بعضی بافت‌های بدن به صورت‌های مختلف تری‌گلیسریدها را ذخیره می‌کنند. بافت چربی مهمترین محلی است که تری‌گلیسریدها در آن ذخیره می‌شوند. همچنین این بافت می‌تواند از کربوهیدرات‌ها و اکسیداسیون اسیدهای چرب، چربی بسازد. تری‌گلیسریدهای ذخیره‌ای به عنوان منابع آماده انرژی بوده و در این بافت به طور دائم ذخیره سازی و جابه‌جا می‌شوند. اگر منابع انرژی توسط دام به مقدار زیاد مصرف شود، باعث تبدیل آن‌ها به چربی و ذخیره شدن در بافت چربی می‌شود و در نتیجه سبب چاق شدن دام می‌شود.

در شرایطی که خوراک مقدار انرژی کمی داشته باشد و یا در حالت گرسنگی، مقدار این ذخیره‌ها کاهش می‌یابد. تری‌گلیسریدهای ذخیره شده در انواع حیوانات، دارای ترکیب اسیدهای چرب اختصاصی هستند، که در غیر نشخوارکنندگان، ترکیب اسیدهای چرب در بدن از اسیدهای چرب موجود در خوراک منشأ می‌گیرد. امّا در بدن دام نشخوارکننده با توجه به تبدیل اسیدهای چرب غیراشباع به اسیدهای چرب اشباع در شکمبه توسط میکروارگانیسم‌ها، چربی ذخیره‌ای با چربی خوراکی تشابه ندارد.

۴ــ۳ــ مواد طبیعی دارای چربی مورد استفاده در تغذیه دام

خوراک‌های مختلف گیاهی و حیوانی دارای مقادیر مختلفی چربی هستند که نوع اسیدهای چرب آن‌ها نیز با یکدیگر متفاوت است.

بعضی از غذاها، حاوی مقدار کمی چربی (کمتر از ۱۰٪) هستند. مثل دانه‌ی غلات، علوفه و... .

دانه‌های روغنی ممکن است تا ۲۰٪ چربی داشته باشد مثل دانه سویاــ تخم پنبه و تخم آفتابگردان.

فعالیت عملی: شناسایی مواد خوراکی دارای چربی

تعدادی از مواد خوراکی دارای چربی را جمع‌آوری کرده و مشخصات ظاهری آن‌ها را بررسی نمایید.

خودآزمایی

۱ ــ چربی‌ها از چه موادی تشکیل شده‌اند؟
۲ ــ تری‌گلیسرید چگونه ایجاد می‌شود؟
۳ ــ چرا یک اسید چرب، اشباع نشده نامیده می‌شود؟
۴ ــ چرا اسیدهای چرب ضروری برای دام تک‌معده‌ای لازم هستند؟
۵ ــ اسیدهای چرب ضروری مهم را نام ببرید.
۶ ــ محل هضم چربی‌ها در تک معده‌ای‌ها در کجای دستگاه گوارش انجام می‌شود؟
۷ ــ میسل چگونه تشکیل می‌شود؟
۸ ــ اهمیت میسل در چیست؟