

تأثیر پختن دانه‌ی جو و ترتیب مصرف کنسانتره و علوفه بر شاخص‌های مرتبط با مقاومت به انسولین در مادیان‌های بالغ عربی

منا امیری^۱، علی کیانی^{۲*} و سعید محمدزاده^۳

تاریخ دریافت: ۹۵/۶/۱۵

تاریخ پذیرش: ۹۶/۴/۱۳

چکیده

در این پژوهش تأثیر پختن دانه‌ی جو و ترتیب مصرف کنسانتره و علوفه بر مقاومت به انسولین در مادیان‌های عربی با استفاده از مدل دینامیکی گلوکز-انسولین بررسی شد. تعداد شش رأس مادیان (سن ۴ الی ۱۰ سال، میانگین وزن بدن 40.9 ± 3.4 کیلوگرم) طی چهار دوره‌ی دو هفته‌ای به صورت کراس-اور تغذیه شد. در دو نوع ترتیب خوراک‌دهی، بخش کنسانتره‌ای جیره یا نیم ساعت بعد (علوفه-غلات) و یا نیم ساعت قبل از مصرف علوفه (غلات-علوفه) در اختیار اسب‌ها قرار گرفت. دانه‌ی جو یا به صورت خرد شده (خرد شده) و یا به صورت پخته شده (پخته شده) در جیره‌ی اسب‌ها استفاده شد. در روز چهاردهم هر دوره، نمونه‌ی خون از سیاهرگ و داج گردنی حدود چهار ساعت بعد از وعده‌ی خوراک صبحگاهی گرفته شد و غلظت‌های هورمون انسولین و گلوکز خون تعیین شد. پاسخ انسولین، حساسیت به انسولین، پاسخ سلول‌های لوزالمعده‌ای بتا، گلوکز مصرفی بافت‌های غیر وابسته به انسولین و نسبت تصحیح شده انسولین به گلوکز با استفاده از مدل دینامیکی گلوکز-انسولین محاسبه شد. نتایج نشان داد که ترتیب خوراک‌دهی تأثیری بر پاسخ انسولین، پاسخ سلول‌های بتای لوزالمعده، نسبت تصحیح شده انسولین به گلوکز نداشت ($P > 0.05$). در مقابل پاسخ سلول‌های بتای لوزالمعده (میلی واحد بین المللی بر لیتر در دقیقه) در تیمار حاوی جو پخته شده (۷۱۹) بیش‌تر از تیمار جو خرد شده (۴۷۸) بود ($P < 0.05$). در تیمار حاوی جو خرد شده نسبت گلوکز به انسولین با میزان گلوکز مصرفی بافت‌های غیروابسته به انسولین همبستگی منفی و با شاخص حساسیت به انسولین همبستگی مثبت داشت در حالی که این روابط در تیمار حاوی جو پخته شده مشاهده نشد. نتایج نشان داد که پختن دانه‌ی جو سبب افزایش نسبت گلوکز به انسولین در حالت پوستپراندیال می‌شود که ممکن است احتمال بروز عارضه‌ی مقاومت به انسولین در مادیان‌های نژاد عربی را افزایش دهد.

کلمات کلیدی: مقاومت به انسولین، ترتیب خوراک‌دهی، پختن غلات، اسب

مقدمه

کاهش تولید انسولین (شبیه دیابت نوع اول انسانی) بندرت در اسب دیده شده است، ولی مقاومت به انسولین (شبیه دیابت نوع دوم) که معمولاً با سندروم متابولیک اسب همراه بوده و به کرات رخ می‌دهد (Johnson et al. 2012). مقاومت به انسولین در اسب زمانی رخ می‌دهد که پاسخ سلول‌ها در بافت‌های وابسته به انسولین کم و یا دچار اختلال شود (Johnson et al. 2012). مقاومت به انسولین پیامدهای زیان‌باری برای اسب به دنبال دارد و

مقاومت به انسولین در اسب یک عارضه متابولیکی است که با بسیاری از موارد پاتولوژیک در اسب مرتبط می‌باشد (Firshman and Valberg 2007, Kronfeld et al. 2005). انسولین هورمونی است که از سلول‌های بتای لوزالمعده ترشح می‌شود و باعث افزایش ورود گلوکز خون به سلول‌های بافت عضلانی و بافت چربی (بافت‌های وابسته به انسولین) و تا حدود کمی بافت کبدی می‌شود (Firshman and Valberg 2007). به طور کلی

^۱ دانش‌آموخته‌ی کارشناسی ارشد فیزیولوژی دام، دانشکده‌ی کشاورزی، دانشگاه لرستان

^{۲*} دانشیار گروه علوم دامی، دانشکده‌ی کشاورزی، دانشگاه لرستان

^۳ دانشیار گروه علوم دامی، دانشکده‌ی کشاورزی، دانشگاه لرستان

دهی) بر عارضه‌ی مقاومت به انسولین و نوسانات غلظت پلاسمایی گلوکز و انسولین در حالت پوستیراندیال با استفاده از مدل دینامیکی انسولین-گلوکز در مادیان‌های بالغ عربی بود.

مواد و روش کار

در این پژوهش تعداد شش رأس مادیان بالغ نژاد عربی (سن ۴ الی ۱۰ سال، میانگین وزن بدن 34 ± 40.9 کیلوگرم) مورد استفاده قرار گرفت. اسب‌ها به طور انفرادی در اصطبل‌هایی با ابعاد 4×3 متر در باشگاه سوارکاری یکه تاز خرم‌آباد نگهداری شدند. آب و بلوک لیسیدنی نمک به طور آزاد در اختیار اسب‌ها قرار داده شد. مدت زمان آزمایش ۸ هفته شامل ۴ دوره دو هفته‌ای بود. ترکیبات جیره‌ی اسب‌ها شامل یونجه (ماده‌ی خشک: ۹۴ درصد، ماده‌ی آلی: ۹۲ درصد، پروتئین خام: ۱۵ درصد، فیبر شوینده‌ی خشتی^۴: ۶۹ درصد، فیبر شوینده‌ی اسیدی^۵: ۳۲ درصد، خاکستر: ۸ درصد)، دانه‌ی جو (بدون فرآوری: ماده‌ی خشک: ۹۵ درصد، ماده‌ی آلی: ۹۲ درصد، پروتئین خام: ۱۰ درصد، فیبر شوینده‌ی خشتی: ۲۹ درصد، فیبر شوینده‌ی اسیدی: ۲۰ درصد، خاکستر: ۵ درصد) و کنجاله‌ی سویا (ماده‌ی خشک: ۹۵ درصد، ماده‌ی آلی: ۹۲ درصد، پروتئین خام: ۴۴ درصد، فیبر شوینده‌ی خشتی: ۴۰ درصد، فیبر شوینده‌ی اسیدی: ۲۷ درصد، خاکستر: ۷ درصد) بود. جیره‌ی اسب‌ها شامل ۷۰ درصد علوفه (یونجه‌ی خشک) و ۳۰ درصد کنسانتره (شامل ۲۳ درصد جو و هفت درصد کنجاله‌ی سویا) به صورت هوا خشک بود. اسب‌ها به ازای هر ۱۰۰ کیلوگرم وزن بدن یک کیلوگرم یونجه‌ی هوا خشک دریافت کردند. بخش کنسانتره شامل دانه‌ی جو و کنجاله‌ی سویا بود که به ترتیب به میزان ۱۹۵۰ و ۶۵۰ گرم در روز به ازای هر اسب بود. در دو نوع ترتیب خوراک‌دهی، بخش کنسانتره

معمولاً با عارضه‌ی شایع لنگش مرتبط است (de Laat et al. 2005, Treiber et al. 2010). گزارش‌هایی وجود دارد که نشان می‌دهد که رژیم غذایی سرشار از کربوهیدرات نشاسته‌ای در مقایسه با رژیم غذایی حاوی فیبر حساسیت به انسولین را در اسب افزایش می‌دهد (Vervuert et al. 2001, Kronfeld et al. 2005, Williams et al. 2009). تغذیه‌ی اسب‌ها با رژیم غذایی غنی از کربوهیدرات نشاسته‌ای به مدت شش هفته منجر به کاهش حساسیت به انسولین و اختلال در تحمل گلوکز شده است (Pratt et al. 2006). میزان افزایش گلوکز خون در حالت پوستیراندیال بستگی زیادی به جایگاه هضم و جذب نشاسته در دستگاه گوارش (روده‌ی کوچک یا سکوم) اسب دارد (Hoffman 2003). فرضیه‌ی پژوهش حاضر بر این اساس است که ترتیب مصرف بخش کنسانتره و علوفه‌ی جیره و یا فرآوری دانه‌ی جو (ترکیب اصلی بخش کنسانتره جیره) با تغییر محل هضم و جذب نشاسته بر شاخص‌های مرتبط با عارضه‌ی مقاومت به انسولین در اسب مؤثر است.

مدل‌های مختلفی برای بررسی عارضه‌ی مقاومت به انسولین در دام‌ها استفاده شده است. جدیدترین و کاربردی‌ترین روش تعیین میزان مقاومت به انسولین، استفاده از مدل دینامیکی گلوکز-انسولین است (Bergman 1989, Treiber et al. 2005). در این مدل امکان محاسبه (۱) پاسخ انسولین^۱، (۲) حساسیت به انسولین^۲، (۳) گلوکز مصرفی بافت‌های غیر وابسته به انسولین^۳ و (۴) نسبت گلوکز به انسولین وجود دارد. مدل دینامیکی گلوکز-انسولین با موفقیت در مطالعات متعدد مربوط به اسب به کار گرفته شده است (Borer et al. 2006, Treiber et al. 2012). هدف از این پژوهش، بررسی تأثیر پختن دانه‌ی جو و ترتیب مصرف بخش کنسانتره و بخش علوفه‌ی جیره (ترتیب خوراک-

4- Neutral Detergent Fiber (NDF)

5- Acid Detergent Fiber (ADF)

1- Insulin response

2- Insulin sensitivity

3- Glucose Effectiveness ($L \cdot L^{LL} \cdot L \cdot L^{LL}$)

در جدول ۱ ترسیم شده است. اسب‌ها به صورت تصادفی بر اساس وزن بدن در دو گروه ۳ رأسی قرار گرفتند و در دوره‌ی اول و دوم دانه‌ی جو خرد شده دریافت کردند و در دوره‌های سوم و چهارم جو پخته شده دریافت کردند. اسب‌های هر گروه در هر دوره یکی از ترتیب‌های خوراک‌دهی را دریافت کردند و در دوره بعدی نوع دیگر ترتیب خوراک‌دهی را دریافت کردند.

جیره یا نیم ساعت قبل (غلات- علوفه) و یا نیم ساعت بعد (علوفه-غلات) از بخش علوفه در اختیار اسب‌ها قرار گرفت. دانه‌ی جو یا به صورت پخته شده در آب جوش (۱۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد) به مدت سه ساعت (پخته شده) و یا به صورت خرد شده (خرد شده) در جیره‌ی اسب‌ها استفاده شد. آزمایش به صورت کراس-اور با چهار دوره‌ی دو هفته‌ای (دوره‌ی اول، دوره‌ی دوم، دوره‌ی سوم و دوره‌ی چهارم) انجام شد. نقشه‌ی اجرای آزمایش

جدول ۱: طرح اجرای آزمایش

دوره‌ی آزمایش	شماره‌ی هفته در طول آزمایش	دانه‌ی جو ^۱	ترتیب خوراک‌دهی ^۲	
			اسب‌های ۱ و ۲ و ۳	اسب‌های ۴ و ۵ و ۶
۱	هفته اول - هفته دوم	خرد شده	غلات - علوفه	غلات - علوفه
۲	هفته سوم - هفته چهارم	خرد شده	غلات - علوفه	غلات - علوفه
۳	هفته پنجم - هفته ششم	پخته شده	غلات - علوفه	غلات - علوفه
۴	هفته هفتم - هفته هشتم	پخته شده	غلات - علوفه	غلات - علوفه

۱) دانه‌ی جو یا به مدت ۳ ساعت در آب جوش پخته شد (پخته شده) و یا به صورت خرد شده (خرد شده) در جیره‌ی اسب‌ها استفاده شد. ۲) بخش کنسانتره جیره یا نیم ساعت بعد (علوفه-غلات) و یا نیم ساعت قبل از بخش علوفه (غلات-علوفه) در اختیار اسب‌ها قرار گرفت.

آزمایشگاه پلازما به وسیله‌ی ساتریفیوژ با دور ۳۰۰۰ به مدت ۱۵ دقیقه جدا شد و در ویال‌های ۱/۵ سی سی ریخته شد و تا زمان آنالیز در دمای ۲۰- درجه‌ی سانتی-گراد نگهداری شد.

غلظت گلوکز (میلی‌گرم در دسی‌لیتر) پلازما به وسیله‌ی آزمایش آنزیمی با استفاده از کیت‌های تجاری (پارس آزمون) تعیین شد. غلظت انسولین پلازما (میکرو واحد بین‌المللی در میلی‌لیتر) با استفاده از کیت تجاری شرکت پارس آزمون تأیید شده برای اسب اندازه‌گیری شد. پارامترهای حساسیت به انسولین^۱، نسبت انسولین به گلوکز تصحیح شده^۲، پاسخ سلول‌های بتا^۳ و شاخص حساسیت به انسولین^۴ با استفاده از مدل دینامیکی گلوکز-

در ابتدای هر دوره، اسب‌ها توزین شده و همواره تحت نظارت بودند و رفتارهای غیر طبیعی مانند جویدن چوب، دندان قروچه و علائم مربوط به کولیک در صورت مشاهده ثبت شد. از روز ۷ الی ۱۳ هر دوره (جمعاً ۶ روز) میزان خوراک مصرفی روزانه، میزان باقی‌مانده خوراک و میزان کل مدفوع روزانه به دقت توزین و ثبت شد. در روز چهاردهم هر دوره نمونه‌های خون از چهار ساعت بعد از مصرف وعده‌ی کنسانتره‌ی صبحگاهی گرفته شد. نمونه‌ی خون با استفاده از ونوجکت از ورید وداج گردنی در لوله‌ی محتوی سدیم هپارین گرفته شد. نمونه‌ها به سرعت با استفاده از یخ سرد شد و به آزمایشگاه انتقال داده شد. در کم‌تر از یک ساعت در

1- Reciprocal of insulin square-root index (RISQI) $(L \text{ LL} / L)^{L \cdot L \cdot L}$
 2- Modified Insulin-to-Glucose Ratio (MIRG) $(L \text{ LL} \text{ LL} / (10 \cdot L \cdot L \text{ LL} \text{ LL}))$
 3- Acute Insulin Response (AIRg) $L \text{ LL} / (L \cdot L \text{ LL} \text{ LL})$ to glucose
 4- Insulin Sensitivity Index (SI) $(L \cdot L \text{ LL} \text{ LL} \cdot L \text{ LL} \text{ LL})$

مادیا نهای عربی در جدول ۲ نشان داده شده است. ترتیب خوراک‌دهی تأثیر معنی‌داری بر میانگین غلظت گلوکز و انسولین، حساسیت به انسولین، پاسخ سلول‌های بتای لوزالمعده، نسبت انسولین به گلوکز تصحیح شده و شاخص حساسیت به انسولین نداشت ($P > 0/05$). همچنین، میانگین نسبت انسولین به گلوکز در تیمارهای دانه‌ی جو پخته شده (۱۰/۴) بیش‌تر از تیمارهای حاوی جو خرد شده (۷/۰۲) بود ($P < 0/05$). میزان مصرف گلوکز در بافت‌های غیروابسته به انسولین نیز تحت تأثیر ترتیب خوراک‌دهی و پختن دانه‌ی جو قرار نگرفت ($P > 0/05$). مصرف دانه‌ی جو پخته شده در مقایسه با دانه‌ی جو خرد شده در جیره‌ی اسب‌ها باعث افزایش معنی‌داری در میانگین پاسخ سلول‌های بتای لوزالمعده‌ی (میلی‌واحد بین‌المللی بر لیتر انسولین در دقیقه) شد ($P < 0/05$).

انسولین محاسبه شد (Treiber et al. 2005, Treiber et al. 2006). جهت محاسبه‌ی حساسیت به انسولین از معکوس جذر انسولین استفاده شد و برای محاسبه تصحیح شده نسبت انسولین به گلوکز از رابطه $\{ (30 - \text{گلوکز}) / (50 - \text{انسولین}) \times 3 / 800$ استفاده شد (Borer et al. 2012).

آزمایش به صورت کراس-اوور با رویه‌ی میکس^۱ در نرم‌افزار SAS (2008) که در مدل آماری ترتیب خوراک-دهی و نوع جو مصرفی به عنوان اثرات ثابت و حیوان به عنوان اثر تصادفی وارد شد، انجام شد. مقایسه‌ی میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای توکی در سطح احتمال معنی‌داری $P < 0/05$ انجام شد.

نتایج

تأثیر پختن دانه‌ی جو و ترتیب مصرف کنساتره و علوفه بر میانگین غلظت گلوکز و انسولین پلاسمای خون

جدول ۲: تأثیرات ترتیب خوراک‌دهی و فراوری دانه‌ی جو بر میانگین غلظت خونی گلوکز، انسولین و شاخص‌های مرتبط با مقاومت به انسولین در مادیا نهای بالغ عربی

سطح معنی‌داری			خطای استاندارد میانگین	دانه جو ^۲		ترتیب خوراک‌دهی ^۱		
اثر متقابل	دانه جو	ترتیب خوراک‌دهی		پخته شده	خرد شده	غلزات-علوفه	غلزات-غلزات	
۰/۵	۰/۱	۰/۸	۹/۲	۸۷/۹	۱۰۲/۸	۹۳/۷	۹۶/۴	گلوکز (میلی‌گرم بر دسی‌لیتر)
۰/۸	۰/۵	۰/۷	۹/۳	۲۰/۷	۱۸/۴	۱۸/۷	۱۹/۵	انسولین (میکرو واحد بین‌المللی بر میلی‌لیتر)
۰/۸	۰/۰۲	۰/۹	۰/۵	۴/۳	۵/۷	۵/۰۳	۵/۰۷	نسبت گلوکز به انسولین
۰/۹	۰/۳۹	۰/۸	۰/۰۱	۰/۲۲	۰/۲۴	۰/۲۳	۰/۲۳	حساسیت به انسولین
۰/۷	۰/۰۵	۰/۵	۱/۳	۱۰/۴	۷/۰۲	۸/۹	۸/۲	نسبت تصحیح شده انسولین به گلوکز
۰/۹	۰/۴	۰/۸	۰/۰۹	۰/۷۴	۰/۸۵	۰/۸۲	۰/۷۹	شاخص حساسیت به انسولین
۰/۸	۰/۵	۰/۷	۲/۴	۲۰	۱۷/۵	۱۷/۹	۱۸/۷	گلوکز مصرفی بافت‌های غیروابسته به انسولین
۰/۷	۰/۰۵	۰/۵	۹۱/۹	۷۱۹	۴۷۸	۶۱۴	۵۶۱	پاسخ سلول‌های بتا

۱) بخش کنساتره جیره یا نیم ساعت بعد (علوفه-غلزات) و یا نیم ساعت قبل از بخش علوفه (غلزات-علوفه) در اختیار اسب‌ها قرار گرفت، ۲) دانه جو یا به مدت ۳ ساعت در آب جوش پخته شد (پخته شده) و یا به صورت خرد شده (خرد شده) در جیره‌ی اسب‌ها استفاده شد.

بافت‌های غیروابسته به انسولین و نسبت گلوکز به انسولین رابطه‌ی معنی‌دار منفی وجود داشت در حالی که در تیمار حاوی دانه‌ی جو پخته شده این همبستگی مشاهده نشد (جدول ۳).

در تیمار حاوی دانه‌ی جو خرد شده رابطه‌ی معنی‌دار مثبتی بین شاخص حساسیت به انسولین و نسبت گلوکز به انسولین وجود داشت در حالی که این رابطه در تیمار حاوی دانه‌ی جو پخته شده مشاهده نشد. علاوه بر این، در تیمار حاوی دانه‌ی جو خرد شده، بین گلوکز مصرفی

جدول ۳: ضرایب همبستگی غلظت گلوکز، انسولین و پارامترهای محاسبه شده با مدل دینامیکی گلوکز-انسولین در اسب‌های تغذیه شده با دانه‌ی جو خرد شده و یا جو پخته شده

نسبت گلوکز به انسولین	گلوکز مصرفی بافت‌های غیر وابسته به انسولین	نسبت تصحیح شده انسولین به گلوکز	حساسیت به انسولین	انسولین ^۲	گلوکز ^۱	
دانه جو خرد شده						
					۰/۵۰	انسولین
				۰/۹۸***	-۰/۵۲†	حساسیت به انسولین
			-۰/۲۹	۰/۲۹	-۰/۶۵*	نسبت تصحیح شده انسولین به گلوکز
		۰/۲۹	-۰/۹۸***	۰/۹۹***	۰/۵۰	گلوکز مصرفی بافت‌های غیروابسته به انسولین
	-۰/۷۵**	-۰/۸۳***	۰/۷۶**	-۰/۷۵**	۰/۱۶	نسبت گلوکز به انسولین
-۰/۸۳***	۰/۲۹	۰/۹۹***	-۰/۲۹	۰/۲۹	-۰/۶۵*	پاسخ سلول‌های بتای لوزالمعده
دانه جو پخته شده						
					۰/۲۸	انسولین
				-۰/۹۸***	-۰/۳۰	حساسیت به انسولین
			-۰/۰۴	۰/۰۲	-۰/۸۰**	نسبت تصحیح شده انسولین به گلوکز
		۰/۰۲	-۰/۹۸***	۰/۹۹***	۰/۲۸	گلوکز مصرفی بافت‌های غیروابسته به انسولین
	-۰/۴۹	-۰/۷۹**	۰/۴۸	-۰/۴۸	۰/۶۷†	نسبت گلوکز به انسولین
-۰/۷۹**	۰/۰۲	۰/۹۹***	-۰/۰۴	۰/۰۲	-۰/۸۰**	پاسخ سلول‌های بتای لوزالمعده

*** معنی‌داری در سطح ۰/۰۰۱، ** معنی‌داری در سطح ۰/۰۱، * معنی‌داری در سطح ۰/۰۵، † معنی‌داری در سطح ۰/۱، (۱) میلی‌گرم بر دسی‌لیتر، (۲) میکرو واحد بین‌المللی بر میلی‌لیتر

بحث

نشخوارکنندگان و غیرنشخوارکنندگان ایفا می‌کنند (Russell et al. 1986). با این که مطالعات زیادی در مورد هضم و جذب در اسب وجود دارد، مطالعات در مورد مصرف خوراک نادر است (Ralston et al. 1979). تدریجی نمودن مصرف خوراک با استفاده از موانع فیزیکی و همچنین کاهش میزان مصرف خوراک سبب

در پژوهش حاضر ترتیب مصرف بخش‌های کنسانتره و علوفه‌ی جیره هیچ تأثیر معنی‌داری بر پارامترهای محاسبه شده‌ی مرتبط با عارضه‌ی مقاومت به انسولین در اسب‌های بالغ عربی نداشت. مطالعه‌ی الگوهای مصرف خوراک و تغییرات مرتبط در متابولیت‌ها و هورمون‌های خون نقش مهمی در کنترل مصرف خوراک در

می‌دهد (Vervuert et al. 2007). مصرف نشاسته کم‌تر از ۱/۱ گرم در کیلوگرم در روز باعث پاسخ انسولین و گلوکز می‌شود که با فرآوری غلات افزایش می‌یابد (Vervuert et al. 2007).

در پژوهش حاضر، غلظت گلوکز و انسولین در اسب‌های تغذیه شده با جو خرد به ترتیب در دامنه‌ی ۴/۷ الی ۷/۵ (میانگین ۵/۶) میلی‌مول در لیتر و ۹/۳ الی ۳۹/۳ (میانگین ۱۵/۶) میکرو واحد بین‌المللی در میلی‌لیتر بود. رابطه‌ی بین پارامتر حساسیت به انسولین و نسبت تصحیح شده گلوکز به انسولین برای اسب‌های تغذیه شده با دانه‌ی جو خرد شده ۰/۷۴ بود که با سایر گزارش‌ها برای اسب‌های سالم مطابقت داشت (Treiber et al. 2006). افزایش پاسخ سلول‌های بتای لوزالمعده‌ای (ترشح انسولین) یا پاسخ جیرانی انسولین در اسب‌هایی که با جو خرد شده تغذیه شدند مطابق با نتایج دیگران بود (Treiber et al. 2012, Borer et al. 2005). پختن دانه‌ی جو به روش پختن در آب جوش، نسبت انسولین به گلوکز را حدود ۳۰ درصد افزایش داد. این افزایش می‌تواند به دلیل مصرف گلوکز در بافت‌ها و یا به دلیل افزایش تولید انسولین باشد. همبستگی مثبت بین شاخص حساسیت به انسولین و نسبت گلوکز به انسولین در حالت پوستپراندیال نشان دهنده‌ی پاسخ طبیعی یک اسب در هر وعده‌ی غذایی است (Kronfeld et al. 2005). در مقابل، غلظت گلوکز و انسولین در اسب‌های تغذیه شده با جو پخته شده به ترتیب در دامنه‌ی ۳/۱ الی ۸/۱ (میانگین ۴/۹) میلی‌مول در لیتر و ۳/۸ الی ۱۶/۸ (میانگین ۹/۷) میکرو واحد بین‌المللی در میلی‌لیتر بود. لذا رابطه‌ی بین پارامتر حساسیت به انسولین و نسبت تصحیح شده گلوکز به انسولین برای اسب‌های تغذیه شده با جو پخته شده (۰/۴۸) با اعداد گزارش شده برای اسب‌های سالم مطابقت نداشت (Treiber et al. 2005, Borer et al. 2012). نتایج پژوهش حاضر نشان داد که پاسخ سلول‌های بتای لوزالمعده‌ای (میلی‌واحد بین‌المللی بر لیتر انسولین در دقیقه) در تیمارهای حاوی دانه‌ی جو پخته شده بیش‌تر از

کاهش پاسخ انسولین در حالت پوستپراندیال و کاهش خطر مقاومت به انسولین در اسب شده است (Kutzner et al. 2011). در مطالعه‌ی دیگر، غلظت انسولین خون در اسب‌هایی که دو وعده غذا در روز مصرف کرده بودند، بیش‌تر از اسب‌هایی بود که سه وعده غذا در روز مصرف کرده بودند (Pratt-Phillips et al. 2014). با این وجود، در آزمایش حاضر هیچ شواهدی مبنی بر تأثیر ترتیب خوراک‌دهی بر غلظت انسولین و شاخص‌های مرتبط به مقاومت به انسولین مشاهده نشد. در آزمایش حاضر مصرف دانه‌ی جو پخته شده سبب افزایش نسبت گلوکز به انسولین در حالت پوستپراندیال در مادیان‌های عربی شد. نوسانات غلظت پلاسمایی گلوکز و انسولین در حالت پوستپراندیال با عارضه‌ی مقاومت به انسولین ارتباط مستقیم دارد (Johnson et al. 2012). یک دلیل آن می‌تواند ناشی از تأثیر پختن دانه‌ی جو بر جایگاه هضم و جذب نشاسته در دستگاه گوارش اسب باشد. در اثر فرآیندهای گرمایی همراه با رطوبت ساختار گرانول‌های نشاسته‌ی غلات به صورت ژلاتینه در می‌آید (Selmi et al. 2000). ژلاتینه شدن نشاسته باعث افزایش هضم و جذب نشاسته در روده‌ی کوچک می‌شود (Vervuert et al. 2009). نشاسته‌ی ژلاتینه شده تحت تأثیر آلفا آمیلاز در روده‌ی کوچک به آسانی هیدرولیز شده و در نتیجه گلوکز بیش‌تری در روده‌ی کوچک جذب می‌شود. افزایش هضم نشاسته باعث افزایش پاسخ قند خون و افزایش غلظت انسولین خون حیوان می‌شود (Vervuert et al. 2007). لذا در پژوهش حاضر پختن دانه‌ی جو احتمالاً سبب افزایش هضم و جذب نشاسته در روده‌ی کوچک شده است و متعاقب آن افزایش بیش‌تر غلظت گلوکز خون در حالت پوستپراندیال در تیمارهای حاوی دانه‌ی جو پخته شده رخ داده است. در مطابقت با یافته‌ی پژوهش حاضر، غلظت گلوکز در خون اسب‌هایی که از علوفه تغذیه کرده‌اند نسبت به اسب‌هایی که از جیره با نشاسته‌ی بالا تغذیه شدند کم‌تر بود (Nielsen et al. 2010). مصرف نشاسته، غلظت گلوکز خون را افزایش

حساسیت به انسولین یافت نشد بلکه بین نسبت گلوکز به انسولین و میزان گلوکز مصرفی بافت‌های غیروابسته به انسولین همبستگی معنی‌داری مشاهده نشد. افزایش پاسخ سلول‌های بتای لوزالمعده‌ای معمولاً با کاهش حساسیت به انسولین رخ می‌دهد که نشان دهنده‌ی عدم کارایی انسولین است (شبهه دیابت نوع دوم). لذا مصرف دانه‌ی جو پخته شده احتمالاً به علت خاصیت گلایسیمیکی بالا ممکن است باعث کاهش حساسیت به انسولین در اسب‌های عربی شود.

در یک نتیجه‌گیری کلی می‌توان گفت، پختن دانه‌ی جو سبب افزایش نسبت گلوکز به انسولین و پاسخ سلول‌های بتای لوزالمعده‌ای در حالت پوستپراندیال در مادیان‌های عربی شد. ترتیب مصرف کنسانتره و علوفه هیچ تأثیر معنی‌داری بر پارامترهای محاسبه شده مرتبط با مقاومت به انسولین در اسب‌های بالغ عربی نداشت. در اسب‌هایی که دانه‌ی جو خرد شده مصرف کردند، نسبت گلوکز به انسولین با میزان گلوکز مصرفی بافت‌های غیروابسته به انسولین همبستگی منفی و با شاخص حساسیت به انسولین همبستگی مثبت داشت در حالی که این روابط در اسب‌هایی که دانه‌ی جو پخته شده مصرف کردند مشاهده نشد. این نتایج می‌تواند نشان دهنده‌ی رابطه‌ای بین مصرف دانه‌ی جو پخته شده (افزایش هضم نشاسته در روده‌ی کوچک) و کاهش حساسیت به انسولین در اسب‌های عربی باشد. هر چند نتیجه‌گیری در رابطه با نتایج این پژوهش نیاز به تحقیقات تکمیلی دارد.

جو خرد شده بود. لذا همبستگی مثبتی بین غلظت انسولین و گلوکز خون در اسب‌هایی که با دانه‌ی جو خرد شده تغذیه شده بودند مشاهده شد، یعنی بین شاخص حساسیت به انسولین و نسبت گلوکز به انسولین رابطه‌ی مثبتی معنی‌داری وجود داشت (۰/۷۴) که کاملاً طبیعی بود. اما در اسب‌هایی که دانه‌ی جو پخته شده مصرف کردند این رابطه مشاهده نشد، یعنی با افزایش غلظت گلوکز در خون تغییری در غلظت انسولین مشاهده نشد. این اختلاف را می‌توان تا حدودی با بررسی تأثیر فراوری دانه‌ی جو بر تغییر در جایگاه هضم و جذب نشاسته در دستگاه گوارش اسب توجیه کرد. نشاسته‌ی مصرفی ابتدا در روده‌ی کوچک هضم و جذب می‌شود و بخش هضم نشده‌ی نشاسته در سکوم اسب در معرض تجزیه‌ی باکتریایی قرار می‌گیرد (de Fombelle et al. 2004). محصول نهایی هضم نشاسته در روده‌ی کوچک و سکوم به ترتیب گلوکز و اسید پروپیونیک است. گلوکز به طور مستقیم جذب و وارد گردش خون می‌شود اما اسید پروپیونیک بعد از جذب از طریق مسیر گلوکونوزنزیس در کبد به گلوکز تبدیل می‌شود (Hoffman et al. 2003). لذا احتمالاً پختن دانه‌ی جو سبب تغییر محل هضم و جذب نشاسته به نفع روده‌ی کوچک شده است که این در نسبت گلوکز به انسولین منعکس شده است. در اسب‌هایی که دانه‌ی جو پخته شده مصرف کردند، نه تنها رابطه‌ی منطقی بین شاخص نسبت گلوکز به انسولین و شاخص محاسبه شده برای

تشکر و قدردانی

از باشگاه سوارکاری یک‌ه‌تاز لرستان به خاطر در اختیار قرار دادن اسب‌ها و تأمین جایگاه اسب‌ها تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع

- Bergman, R.N. (1989). Toward physiological understanding of glucose tolerance: minimal-model approach. *Diabetes*, 38(12): 1512-1527.
- Borer, K.E.R.; Bailey, S.; Menzies-Gow, N.J.; Harris, P.A. and Elliott, J. (2012). Use of proxy measurements of insulin sensitivity and insulin secretory response to distinguish between normal and previously laminitic ponies. *Equine Veterinary Journal*, 44(4): 444-448.
- de Fombelle, A.; Veiga, L.; Drogoul, C. and Julliard, V. (2004). Effect of diet composition and feeding pattern on the prececal digestibility of starches from diverse botanical origins measured with the mobile nylon bag technique in horses. *Journal of Animal Science*, 82: 3625-3634.
- de Laat, M.A.; McGowan, C.M.; Sillence, M.N. and Pollitt, C.C. (2010). Equine laminitis: induced by 48 h hyperinsulinaemia in Standardbred horses. *Equine Veterinary Journal* 42(2): 129-135.
- Firshman, A.M. and Valberg, S.J. (2007). Factors affecting clinical assessment of insulin sensitivity in horses. *Equine Veterinary Journal*, 39(6): 567-575.
- Hoffman, R.M.; Kronfeld, D.S.; Cooper, W.L. and Harris, P.A. (2003). Glucose clearance in grazing mares is affected by diet, pregnancy, and lactation. *Journal of Animal Science*, 81(7): 1764-1771.
- Johnson, P.J.; Wiedmeyer, C.E.; LaCarrubba, A.; Ganjam, V.S. and Messer, N.T. (2012). Diabetes, insulin resistance, and metabolic syndrome in horses. *Journal of Diabetes Science and Technology* 6(3), 534-540.
- Kronfeld, D.S.; Treiber, K.H.; Hess, T.M. and Boston, R.C. (2005). Insulin resistance in the horse: definition, detection, and dietetics. *Journal of Animal Science*, 83: E22-E31.
- Kutzner-Mulligan, J.; Hewitt, K.; Sharlette, J.; Smith, J. and Pratt-Phillips, S. (2011). The effect of different feed delivery methods on rate of feed consumption and serum insulin concentration in horses. *Journal of Equine Veterinary Science*, 31(5-6): 300.
- Nielsen, B.D.; O'Connor-Robison, C.I.; Spooner, H.S. and Shelton, J. (2010). Glycemic and insulinemic responses are affected by age of horse and method of feed processing. *Journal of Equine Veterinary Science*, 30 (5): 249-258.
- Pratt, S.E.; Geor, R.J. and McCutcheon, L.J. (2006). Effects of dietary energy source and physical conditioning on insulin sensitivity and glucose tolerance in Standardbred horses. *Equine Veterinary Journal Supplement*, 38 (S36): 579-584.
- Pratt-Phillips, S.; Kutzner-Mulligan, J.; Marvin, R.; Brown, H.; Sykes, C. and Federico, J. (2014). The effect of feeding two or three meals per day of either low or high nonstructural carbohydrate concentrates on postprandial glucose and insulin concentrations in horses. *Journal of Equine Veterinary Science*, 34(11-12): 1251-1256.
- Ralston, S.L.; Van den Broek, G. and Baile, C.A. (1979). Feed intake patterns and associated blood glucose, free fatty acid and insulin changes in ponies. *Journal of Animal Science*, 49: 838-845.
- Russell, M.A.; Rodiek, A.V. and Lawrence, L.M. (1986). Effect of meal schedules and fasting on selected plasma free amino acids in horses. *Journal of Animal Science*, 63:1428-1431.
- SAS Institute. (2008). SAS Users Guide: Statistics. Version 9.2. SAS Institute Inc, Cary, NC.
- Selmi, B.; Marion, D.; Perrier Cornet, J.M.; Douzals, J.P. and Gervais, P. (2000). Amyloglucosidase hydrolysis of high-pressure and thermally gelatinized corn and wheat starches. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48(7): 2629-2633.
- Treiber, K.H.; Kronfeld, D.S. and Geor, R.J. (2006). Insulin resistance in equids: possible role in laminitis. *The Journal of Nutrition*, 136(6): 2094-2098S.
- Treiber, K.H.; Kronfeld, D.S.; Hess, T.M.; Boston, R.C. and Harris, P.A. (2005). Use of proxies and reference quintiles obtained from minimal model analysis for determination of insulin sensitivity and pancreatic beta-cell responsiveness in horses. *American Journal of Veterinary Research*, 66(12): 2114-2121.
- Vervuert, I.; Bothe, C. and Coenen, M. (2007). Glycaemic and insulinaemic responses to mechanical or thermal processed barley in horses. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 91(5-6): 263-268.

Vervuert, I.; Voigt, K.; Hollands, T.; Cuddeford, D. and Coenen, M. (2009). Effect of feeding increasing quantities of starch on glycaemic and insulinaemic responses in healthy horses. *The Veterinary Journal*, 182(1): 67-72.

Williams, C.A.; Kronfeld, D.S.; Staniar, W.B. and Harris, P.A. (2001). Plasma glucose and insulin responses of Thoroughbred mares fed a meal high in starch and sugar or fat and fiber. *Journal of Animal Science*, 79: 2196-2201.

Effect boiled barley and order of consumption of concentrate to forage on proxies related to insulin resistance in adult Arabian mares

Amiri, M.¹; Kiani, A.² and Mohammadzadeh, S.³

Received: 05.09.2016

Accepted: 04.07.2017

Abstract

In this study, effect of boiling of barley grain and order of consumption of concentrate to forage on proxies related to insulin resistance in Arabian mares were studied using minimal model of glucose and insulin dynamics. Six mares age 4-10 years, mean body weight 445±34 kg) were fed during four periods of 14-days in a cross-overs experiment. In two feed sequencing, the concentrate part of ration was offered either 30 min. after (F-C) or 30 min. before forage part (C-F). Barley grain was either crushed (crushed) or boiled for 3h in water (boiled). At the end of each period, blood samples were taken from jugular vein four hours after morning meal. Blood samples were analyzed for insulin and glucose concentrations. Insulin response, insulin sensitivity, response pancreatic beta cells, tissue glucose non-insulin dependent and modified insulin glucose ratio were calculated based on proxy of the dynamic model. The results showed that feed sequencing had no significant effect on insulin response, response of beta cells, and modified insulin to glucose ratio ($P>0.05$). Beta-cell response $\text{mIU}/(\text{L} \cdot \text{min}^{-1})$ in boiled barley was higher than that in crushed barley (719 vs. 478, $P<0.05$). A positive correlation was found between insulin sensitivity and glucose consumption of non-insulin dependent tissues in crushed but not in boiled barley. The results showed that feeding boiled barley might increase postprandial glucose to insulin ratio which might lead to insulin resistance in adult Arabian mares.

Key words: Insulin resistance, Feed sequencing, Grain boiled, Horse

1- MSc Graduated of Animal Physiology, Faculty of Agricultural Science, Lorestan University, Khoram Abad, Iran

2- Associate Professor, Department of Animal Science, Faculty of Agricultural Science, Lorestan University, Khoram Abad, Iran

Corresponding Author: Kiani, A., E-mail: kiani.a@lu.ac.ir