Phone:+98 513 766 7944
Site: https://www.petrotarh.com
Instagram:joosheshirinpars
Telegram: joosheshirinpars

Animal Feed Science and Technology 304 (2023) 115749

Contents lists available at ScienceDirect

Animal Feed Science and Technology

journal homepage: www.elsevier.com/locate/anifeedsci

Supplementation of an organic mineral source modulated metabolic profile, insulin sensitivity, and oxidative stress in dairy calves with different birth body weights

M.S. Mousavi-Haghshenas [a], G.R. Ghorbani [a], F. Hashemzadeh [a,*], H. Rafiee [b,*], E. Ghasemi [a], H. Sadri [c,d], M.H. Ghaffari [d]

[a] Department of Animal Sciences, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan 84156-83111, the Islamic Republic of Iran
[b] Animal Science Research Department, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, 8174835117 Isfahan, the Islamic Republic of Iran
[c] Department of Clinical Science, Faculty of Veterinary Medicine, University of Tabriz, 516616471 Tabriz, the Islamic Republic of Iran
[d] Institute of Animal Science, University of Bonn, 53115 Bonn, Germany

https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0377840123001839?via%3Dihub

افزودن مکمل معدنی آلی پروفایل متابولیکی، حساسیت به انسولین و تنش اکسیداتیو در گوساله‌های شیری با وزن تولد مختلف را تغییر می دهد

مطالعه حاضر به منظور بررسی اثرات جایگزینی جزئی مواد معدنی غیر آلی (IM) با مواد معدنی کلاته (ACMS) در استارتر گوساله‌ها با وزن تولد مختلف (BBW) بر شاخص‌های متابولیک و تست تحمل گلوکز انجام شد. پنجاه و دو گوساله هلشتاین به یکی از ۴ تیمار در آرایش فاکتوریل ۲×۲ با دو منبع مکمل معدنی (IM یا ACMS) و دو وزن تولد (کم یا طبیعی؛ LBW یا NBW) اختصاص داده شدند. گوساله ها در روز ۵۶ از شیر گرفته شدند و تا روز ۷۱ در مطالعه باقی ماندند. نمونه خون برای آنالیز متابولیت خون از ورید ژوگولار در روزهای ۳۰، ۶۰ و ۷۰ مطالعه و برای هماتولوژی در روزهای ۳۶، ۵۶ و ۷۰ جمع آوری شد. نتایج نشان داد که اثر متقابل منابع معدنی استارتر (MS) و وزن تولد غلظت β-هیدروکسی بوتیرات (BHB) در پلاسما را تحت تاثیر قرار داد، با بالاترین مقدار در تیمار LBW-ACMS. علاوه بر این، تعامل بین MS و وزن تولد در غلظت انسولین پلاسما مشاهده شد که گوساله های LBW-IM کمترین غلظت را در مقایسه با سایر تیمارها داشتند. غلظت آلبومین پلاسما در

Phone:+98 513 766 7944
Site: https://www.petrotarh.com
Instagram:joosheshirinpars
Telegram: joosheshirinpars

گوساله های LBW کمتر از گوساله های NBW بود. علاوه بر این، گوساله های NBW غلظت پلاسمایی بیشتری از گلوکز (روز ۶۰)، انسولین (روز ۳۰)، BHB (روز ۳۰) و مالون دی آلدئید (MDA؛ روز ۶۰ و کل دوره) نسبت به گوساله های LBW داشتند، در حالی که ظرفیت آنتی اکسیدانی کل (TAC) در روز ۷۰ اثر معکوس داشت. استارتر ACMS غلظت گلوکز پلاسما را در روز ۳۰ افزایش داد و تمایل به افزایش غلظت BHB پلاسما در دوره کلی داشت. علاوه بر این، غلظت MDA پلاسما در گوساله های دریافت کننده ACMS کمتر از گوساله های دریافت کننده IM در طول کل دوره بود. گوساله های NBW تمایل به داشتن ائوزینوفیل (روز ۷۰)، بازوفیل (روز ۳۶) و گلبول های قرمز (RBC، روز ۵۶ و کل دوره) در پلاسما نسبت به گوساله های LBW داشتند. صرف نظر از وزن تولد، تغذیه استارتر ACMS باعث افزایش گلبول های سفید (WBC)، نوتروفیل ها و ائوزینوفیل ها در روز ۷۰ شد و همچنین تمایل به افزایش نوتروفیل ها در کل دوره در مقایسه با گروه های IM داشت. غلظت گلبول های قرمز در کل دوره در گوساله هایی که با ACMS تغذیه شده بودند بیشتر از گوساله هایی بود که با IM تغذیه شده بودند. آزمون تحمل گلوکز نشان داد که غلظت گلوکز پایه و نرخ کلیرانس (CR) گلوکز به ترتیب در گوساله‌های تغذیه شده با ACMS نسبت به گوساله‌هایی که IM تغذیه شدند کمتر و بالاتر است. مکمل ACMS باعث افزایش غلظت پایه و همچنین تمایل به افزایش حداکثر غلظت انسولین در مقایسه با مکمل IM شد. علاوه بر این، گوساله‌هایی که استارتر ACMS دریافت می‌کنند، سطح انسولین پلاسما زیر منحنی (AUC) و CR بیشتری در مقایسه با گوساله‌های دریافت کننده IM داشتند. تغذیه ACMS تمایل به افزایش نسبت CR انسولین به CR گلوکز و افزایش AUC انسولین به AUC گلوکز در مقایسه با تغذیه IM داشت. به طور کلی، تغذیه ACMS منجر به کاهش غلظت MDA پلاسما و افزایش غلظت نوتروفیل شد، که نشان می دهد ACMS ممکن است عملکرد ایمنی را در این گوساله ها بهبود بخشد. یک اثر انسولینوتروپیک بالقوه با تغذیه ACMS، که با بهبود نرخ کنترل گلوکز همراه بود، مشاهده شد. این احتمالاً به دلیل فراهمی زیستی بالاتر مواد معدنی کلات شده مانند روی است و باید بیشتر مورد بررسی قرار گیرد.

غلظت بیشتر BHB پلاسما در گوساله های LBW-ACMS ممکن است نشان دهنده رشد بیشتر شکمبه و در نتیجه اثر مفید تغذیه گوساله های LBW با ACMS برای تحریک رشد و توسعه شکمبه در این گوساله ها باشد. مکمل معدنی استارتر هیچ تاثیری بر غلظت پلاسمایی انسولین، TAC، آلبومین، پروتئین کل، گلوبولین و نسبت آلبومین به گلوبولین نداشت. با این حال، غلظت MDA پلاسما تمایل به کاهش داشت، و میزان نوتروفیل تمایل به افزایش در گوساله های تغذیه شده با ACMS داشت، که نشان می دهد ACMS می تواند عملکرد ایمنی این گوساله ها را تقویت کند. علاوه بر این، غلظت کمتر MDA پلاسما و سطوح MCHC، MCH و RBC بیشتر در

Phone:+98 513 766 7944
Site: https://www.petrotarh.com
Instagram:joosheshirinpars
Telegram: joosheshirinpars

گوساله های NBW ممکن است نشان دهنده وضعیت اکسیژن و آنتی اکسیدان بهتر نسبت به گوساله های LBW باشد. پارامترهای مرتبط با داده های GTT در مطالعه حاضر بیشتر تحت تأثیر منبع MS قرار گرفتند تا وزن تولد. مکمل ACMS با یک اثر انسولینوتروپیک احتمالی همراه بود که تمایل به بهبود نرخ کلیرانس گلوکز داشت.

Table 1
Ingredients of ground starter feed.

Ingredients, % of DM	Inorganic mineral diets	Advanced chelated mineral diets
Wheat straw	5.0	5.0
Barley grain	9.6	9.6
Corn grain	46.0	46.0
Soybean meal	25.6	25.6
Extruded soybean grain	2.8	2.8
Sugar beet pulp	6.3	6.3
Ca-salt fat[a]	0.95	0.95
Probiotics[b]	0.10	0.10
Sodium bicarbonate	0.47	0.47
Salt	0.38	0.38
Calcium carbonate	1.0	1.0
Sodium bentonite	0.60	0.60
Dicalcium phosphate	0.40	0.40
Magnesium oxide	0.30	0.30
Vitamin supplement[c]	0.20	0.20
Mineral supplement[d]	0.30	0.15
Mineral supplement[e]	-	0.15

[a] Pershiafat+, Pershiafat, Tehran, Iran. Composition: moisture, 2 %; crude fat, 85 % (C16:0, 35–38 %; C18:0, 8–10 %; C18:1, 40–42 %; C18:2, 10–14 %; C18:3, 1–2 %;).
[b] Bio-Romina, a commercial symbiotic (Zist Darman Mahan Co, Tehran, Iran) containing a combination of *Saccharomyces cerevisiae, Lactobacillus acidophilus, Lactobacillus plantarum, Lactobacillus casei, Lactobacillus rhamnosus, Bifidobacterium bifidum, Pediococcus acidilactici, Enterococcus faecium, Bacillus subtilis*, and yeast extract).
[c] Contained per kilogram of supplement: Vitamin A: 12,000 IU; Vitamin D: 5000 IU; Vitamin E: 100 IU.
[d] Contained per kilogram of supplement: inorganic sources of Fe (mg/kg) = 4000, Co (mg/kg) = 600, Mn (mg/kg) = 18,000, Se (mg/kg) = 150, Zn (mg/kg) = 25,000, Cu (mg/kg) = 9000, I (mg/kg) = 250, and chromium (mg/kg) = 500 from organic source.
[e] Contained per kilogram of supplement: chelated sources of Fe (mg/kg) = 4000, Co (mg/kg) = 600, Mn (mg/kg) = 18,000, Se (mg/kg) = 150, Zn (mg/kg) = 25,000, Cu (mg/kg) = 9000, I (mg/kg) = 250 and chromium (mg/kg) = 500.

Phone:+98 513 766 7944
Site: https://www.petrotarh.com
Instagram:joosheshirinpars
Telegram: joosheshirinpars

Table 2
Nnutrients composition of ground starter feed.

Ingredients, % of DM	Inorganic mineral diets	Advanced chelated mineral diets
Dry matter	91.7	92.0
Organic matter	91.5	91.3
Crude protein	20.6	20.4
Ether extract	3.2	3.3
Neutral detergent fiber	18.7	18.4
Acid detergent fiber	8.2	8.1
Non-fiber carbohydrate[a]	49.0	49.2
Calcium	0.73	0.73
Phosphorus	0.45	0.45
Metabolizable energy, MJ/kg of DM[a]	2.81	2.82
Microminerals, mg/kg of DM		
Se	0.46	0.48
Cr	1.40	1.60
Cu	33	31
Fe	418	402
Mn	55	57
Zn	77	79
Co	1.80	1.70

[a] Estimated using NRC (2001) equations with the values from the analyses for starter.

Phone:+98 513 766 7944
Site: https://www.petrotarh.com
Instagram:joosheshirinpars
Telegram: joosheshirinpars

Table 3
Effects of dietary mineral source and birth body weight on blood biochemical parameters of dairy calves (n = 13 per treatment).

	Normal BW		Light BW			Treatment effects[a]						
Items	ACMS[b]	IM[b]	ACMS	IM	SEM	BBW	MS	BBW × MS	Time (T)	BBW×T	MS×T	BBW×MS×T
Glucose, mg/dL												
d 30	5.65	5.25	5.51	4.94	0.21	0.33	0.04	0.71				
d 60	**5.53**	**5.59**	**4.97**	**4.93**	0.25	0.03	0.95	0.86				
d 70	5.41	5.10	5.44	5.16	0.22	0.85	0.23	0.96				
Overall	5.53	5.31	5.31	5.01	0.19	0.20	0.21	0.84	0.80	0.02	0.14	0.92
Insulin, U/mL												
d 30	15.2[ab]	27.4[a]	18.1[ab]	10.61[b]	2.25	0.06	0.50	0.01				
d 60	27.4	21.2	33.4	20.0	5.13	0.69	0.13	0.57				
Overall	21.2	24.3	25.7	15.3	3.51	0.59	0.37	0.11	0.01	0.13	0.05	0.31
BHB, mmol/L												
d 30	0.125	0.135	0.106	0.090	0.016	0.06	0.84	0.45				
d 60	0.307[b]	0.338[b]	0.425[a]	0.288[b]	0.035	0.29	0.11	0.01				
d 70	0.478	0.356	0.498	0.438	0.051	0.37	0.11	0.58				
Overall	0.300	0.280	0.348	0.268	0.023	0.50	0.07	0.06	<0.01	0.11	0.18	0.05
Total antioxidant capacity, mmol/L												
d 30	0.344	0.305	0.352	0.345	0.03	0.57	0.58	0.70				
d 60	0.311	0.341	0.282	0.308	0.023	0.20	0.24	0.93				
d 70	0.300	0.295	0.358	0.313	0.024	0.10	0.28	0.39				
Overall	0.318	0.316	0.333	0.320	0.015	0.53	0.69	0.90	0.58	0.06	0.16	0.73
Malondialdehyde, nmol/mL												
d 30	1.342	1.483	1.260	1.433	0.075	0.42	0.06	0.84				
d 60	1.642	1.650	1.320	1.483	0.127	0.09	0.54	0.57				
d 70	*1.451*	*1.800*	*1.360*	*1.700*	0.076	0.25	<0.01	0.98				
Overall	1.476	1.649	1.319	1.533	0.068	0.06	0.01	0.66	<0.01	0.53	0.05	0.85
Albumin, g/dL												
d 30	3.2	3.3	3.0	3.0	0.08	0.03	0.82	0.50				
d 60	3.5	3.6	3.3	3.4	0.09	0.05	0.75	0.12				
d 70	3.4	3.5	3.3	3.3	0.06	0.02	0.79	0.53				
Overall	3.4	3.4	3.2	3.2	0.06	0.01	0.74	0.58	<0.01	0.88	0.98	0.82
Total protein, g/dL												
d 30	6.3	6.2	5.8	5.7	0.27	0.13	0.70	0.93				
d 60	6.0	6.0	5.7	5.8	0.15	0.28	0.80	0.81				
d 70	5.9	6.0	6.0	5.9	0.13	0.97	0.86	0.51				
Overall	6.1	6.0	5.8	5.8	0.14	0.15	0.91	0.94	0.43	0.37	0.82	0.70
Globulin, g/dL												
d 30	3.1	2.9	2.8	2.7	0.21	0.28	0.55	0.70				
d 60	2.4	2.4	2.4	2.4	0.10	0.91	0.91	0.63				
d 70	2.4	2.5	2.6	2.6	0.12	0.22	0.95	0.70				
Overall	2.6	2.6	2.6	2.6	0.11	0.82	0.72	0.78	<0.01	0.20	0.74	0.67
Albumin to globulin ratio												
d 30	1.0	1.1	1.1	1.1	0.06	0.85	0.50	0.43				
d 60	1.4	1.5	1.4	1.3	0.05	0.23	0.97	0.59				
d 70	1.4	1.4	1.2	1.2	0.06	0.05	0.87	0.94				
Overall	1.3	1.3	1.2	1.2	0.04	0.17	0.81	0.57	<0.01	0.31	0.79	0.79

[a,b,c]Means within a row with different superscripts are significantly different ($P < 0.05$).
Significant differences ($P < 0.05$) between different BBW within day are depicted by bold numbers.
Significant differences ($P < 0.05$) between different MS within day are depicted by italic numbers.
[a] Contrasts for BBW (birth body weight), MS (mineral source of starter feed) and interaction (BBW × MS).
[b] IM = inorganic minerals source; ACMS = advanced chelated mineral source.

Phone:+98 513 766 7944
Site: https://www.petrotarh.com
Instagram:joosheshirinpars
Telegram: joosheshirinpars

Table 4
Effects of dietary mineral source and birth body weight on complete blood count of dairy calves (n = 13 per treatment).

	Normal BW		Light BW		SEM	Treatment effects[a]						
Items	ACMS[b]	IM[b]	ACMS	IM		BBW	MS	BBW×MS	Time (T)	BBW×T	MS×T	BBW×MS×T
White blood cells (10^9/L)												
d 36	8.8	8.3	7.5	9.6	0.95	0.98	0.42	0.18				
d 56	9.5	9.1	8.8	9.8	0.83	0.97	0.73	0.41				
d 70	*11.3*	*9.3*	*11.0*	*9.1*	0.71	0.66	0.01	0.95				
Overall	9.9	8.9	9.1	9.5	0.69	0.87	0.67	0.32	<0.01	0.88	<0.01	0.29
Neutrophils (Neu; 10^9/L)												
d 36	4.33	3.72	3.38	5.04	0.805	0.81	0.51	0.16				
d 56	4.49	4.53	4.59	4.21	0.525	0.83	0.71	0.87				
d 70	5.57	4.44	5.26	3.94	0.466	0.40	0.01	0.84				
Overall	4.81	4.24	4.41	4.41	0.421	0.78	0.50	0.50	0.25	0.77	0.08	0.30
Lymphocytes (Lym; 10^9/L)												
d 36	3.89	3.89	3.60	3.88	0.443	0.74	0.75	0.75				
d 56	4.53	3.84	3.55	4.84	0.556	0.98	0.60	0.08				
d 70	4.70	4.02	4.86	4.38	0.549	0.64	0.29	0.85				
Overall	4.38	3.93	4.00	4.37	0.353	0.94	0.91	0.23	0.09	0.80	0.25	0.29
Monocytes (Mon; 10^9/L)												
d 36	0.35	0.37	0.36	0.58	0.127	0.40	0.36	0.44				
d 56	0.37	0.55	0.42	0.52	0.088	0.92	0.13	0.66				
d 70	0.85	0.67	0.71	0.57	0.099	0.23	0.12	0.89				
Overall	0.52	0.53	0.50	0.56	0.062	0.97	0.61	0.69	<0.01	0.33	0.05	0.68
Eosinophils (Eos; 10^9/L)												
d 36	0.14	0.07	0.11	0.14	0.035	0.56	0.56	0.14				
d 56	0.12	0.20	0.16	0.19	0.034	0.60	0.15	0.50				
d 70	0.29	0.23	0.22	0.17	0.035	0.07	0.09	0.83				
Overall	0.19	0.16	0.16	0.17	0.021	0.69	0.67	0.60	<0.01	0.10	0.06	0.29
Basophils (Bas; 10^9/L)												
d 36	**0.022***	**0.044**	**0.005**	**0.007**	0.0084	<0.01	0.14	0.26				
d 56	0.0003	0.005	0.007	0.004	0.0045	0.46	0.71	0.38				
d 70	0.005	0.011	0.017	0.005	0.0078	0.74	0.74	0.26				
Overall	0.009	0.020	0.009	0.003	0.0039	0.08	0.36	0.06	0.01	0.01	0.48	0.80
Red blood cells (10^{1a}/L)												
d 36	8.70	7.23	7.52	7.43	0.420	0.25	0.06	0.11				
d 56	9.91	9.59	9.43	8.85	0.238	0.01	0.07	0.60				
d 70	9.79	9.65	9.72	8.89	0.259	0.12	0.07	0.19				
Overall	9.46	8.81	8.89	8.39	0.224	0.03	0.03	0.74	<0.01	0.60	0.68	0.11
Hemoglobin (g/dL)												
d 36	8.96	7.35	7.50	7.82	0.507	0.33	0.21	0.06				
d 56	**11.96**	**12.93**	**10.31**	**10.30**	0.467	<0.01	0.31	0.30				
d 70	13.46	13.43	12.66	12.49	0.389	0.03	0.80	0.85				
Overall	11.45	11.22	10.15	10.20	0.295	<0.01	0.74	0.63	<0.01	0.04	0.26	0.10
Hematocrit (%)												
d 36	28.42	24.14	23.78	25.04	1.472	0.21	0.31	0.06				
d 56	33.69	33.06	30.53	29.59	0.827	<0.01	0.35	0.85				
d 70	33.84	33.70	32.84	31.19	0.880	0.05	0.32	0.39				
Overall	31.9	30.2	29.0	28.5	0.88	<0.01	0.22	0.48	<0.01	0.14	0.81	0.04
Mean corpuscular volume (fL)												
d 36	32.58	33.26	31.60	33.64	0.696	0.66	0.05	0.33				
d 56	34.03	34.52	32.70	33.55	1.064	0.28	0.53	0.86				
d 70	34.59	34.97	33.96	35.31	0.962	0.87	0.37	0.61				
Overall	33.6	34.1	32.7	34.0	0.85	0.59	0.29	0.59	<0.01	0.10	0.6	0.74
Mean corpuscular hemoglobin (pg)												
d 36	10.23	10.14	10.09	10.51	0.245	0.64	0.50	0.30				
d 56	**12.05**	**13.50**	**10.95**	**11.76**	0.544	0.01	0.04	0.56				
d 70	13.78	13.90	13.05	14.13	0.410	0.54	0.15	0.25				
Overall	12.00	12.42	11.36	12.12	0.308	0.10	0.05	0.65	<0.01	0.03	0.24	0.30
Mean corpuscular hemoglobin concentration (g/dL)												
d 36	31.39	30.45	31.36	31.23	0.300	0.22	0.08	0.18				
d 56	**35.48**	**39.2**	**33.92**	**34.69**	1.183	0.01	0.06	0.22				
d 70	39.70	39.79	38.60	40.09	0.840	0.62	0.35	0.39				
Overall	35.5	36.5	34.6	35.3	0.0.50	0.04	0.09	0.81	<0.01	0.03	0.07	0.24
Eos to Lym ratio												
d 36	0.0385	0.0381	0.04	0.05	0.016	0.52	0.85	0.83				
d 56	0.03	0.062	0.060	0.05	0.014	0.50	0.43	0.22				
d 70	0.07	0.064	0.055	0.04	0.011	0.13	0.48	0.84				
Overall	0.047	0.055	0.053	0.050	0.009	0.94	0.82	0.55	0.35	0.14	0.47	0.51
Neu to Lym ratio												
d 36	1.18	1.26	1.33	1.55	0.349	0.53	0.66	0.85				

Phone:+98 513 766 7944
Site: https://www.petrotarh.com
Instagram:joosheshirinpars
Telegram: joosheshirinpars

Table 4 (*continued*)

Items	Normal BW		Light BW		SEM	Treatment effects[a]						
	ACMS[b]	IM[b]	ACMS	IM		BBW	MS	BBW×MS	Time (T)	BBW×T	MS×T	BBW×MS×T
d 56	1.15	1.33	1.52	1.12	0.254	0.76	0.66	0.26				
d 70	1.39	1.21	1.18	1.08	0.213	0.41	0.58	0.83				
Overall	1.24	1.28	1.35	1.25	0.162	0.79	0.83	0.68	0.81	0.55	0.71	0.47
Lym to Mon ratio												
d 36	14.3	14.7	12.7	10.2	9.164	0.44	0.78	0.80				
d 56	15.08	8.54	12.06	13.17	2.590	0.76	0.30	0.15				
d 70	5.81	6.78	8.16	11.60	1.678	0.04	0.20	0.46				
Overall	11.6	9.95	10.9	11.6	1.99	0.80	0.78	0.52	<0.01	0.13	0.15	0.44

[a,b,c]Means within a row with different superscripts are significantly different ($P < 0.05$).
Significant differences ($P < 0.05$) between different BBW within day are depicted by bold numbers.
Significant differences ($P < 0.05$) between different MS within day are depicted by italicized numbers.
[a] Contrasts for BBW (birth body weight), MS (mineral source of starter feed) and interaction (BBW × MS).
[b] IM = inorganic minerals source; ACMS = advanced chelated mineral source.

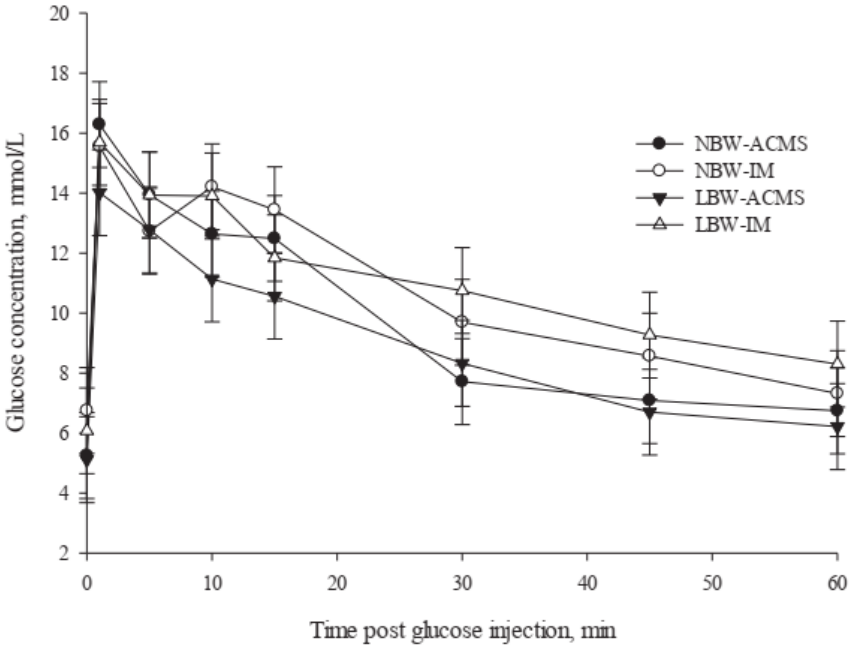

Fig. 1. Effects of birth body weight (normal vs. low BW; NBW vs. LBW, respectively), and dietary mineral source (inorganic vs advanced chelated mineral source; IM vs. ACMS, respectively) on plasma glucose concentration after i.v. glucose tolerance test (overall *P*-values for birth body weight, dietary mineral sources, and their interaction were 0.47, 0.01, and 0.27, respectively). Data were expressed as LSM ± SEM.

Phone:+98 513 766 7944
Site: https://www.petrotarh.com
Instagram:joosheshirinpars
Telegram: joosheshirinpars

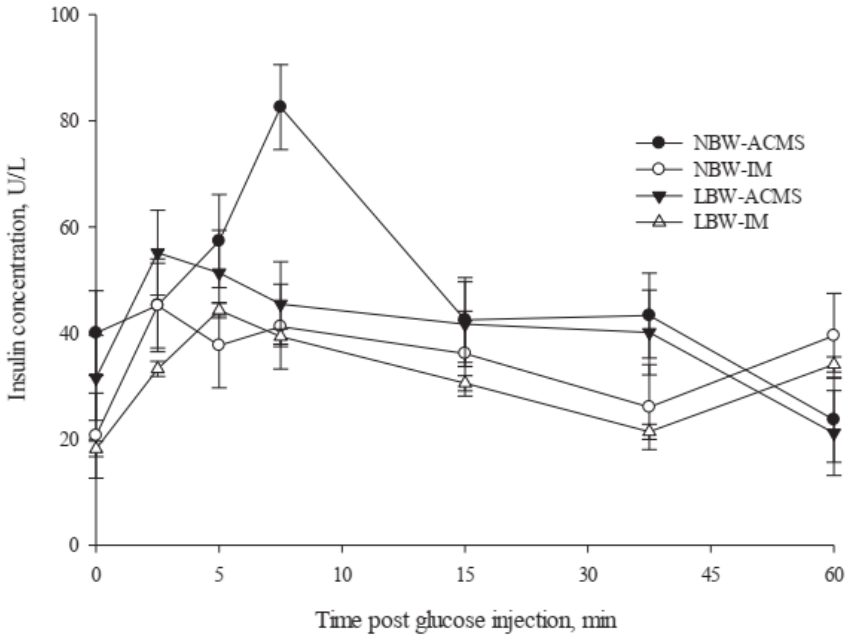

Fig. 2. Effects of birth body weight (normal vs. low BW; NBW vs. LBW, respectively), and dietary mineral source (inorganic vs advanced chelated mineral source; IM vs. ACMS, respectively) on plasma insulin concentration after i.v. glucose tolerance test (overall *P*-values for birth body weight, dietary mineral sources, and their interaction were 0.08, <0.01, and 0.59, respectively). Data were expressed as LSM ± SEM.

Table 5
Effects of dietary mineral source and birth body weight on plasma glucose and insulin responses to glucose tolerance test of dairy calves (n = 13 per treatment).

	Normal BW		Light BW		SEM	Treatment effects[a]		
Items	ACMS[b]	IM[b]	ACMS	IM		BBW	MS	BBW × MS
Glucose								
Basal, mmol/L	5.25	6.75	5.11	6.02	0.69	0.56	0.09	0.70
Maximum, mmol/L	16.60	18.75	14.00	16.55	1.95	0.22	0.25	0.90
Delta, mmol/L	11.43	12.00	8.90	10.48	1.90	0.30	0.58	0.79
AUC, mmol/L × 60 min	463.0	514.7	431.5	523.7	52.7	0.83	0.18	0.70
Clearance rate, %/min	1.55	1.23	1.41	1.08	0.19	0.44	0.08	0.96
Insulin								
Basal, μU/mL	25.98	19.21	21.98	15.60	3.22	0.23	0.05	0.91
Maximum, μU/mL	75.25	50.90	64.58	54.68	9.58	0.30	0.08	0.22
Delta, μU/mL	50.60	31.68	42.90	39.08	10.53	0.97	0.31	0.49
AUC, μU/mL × 60 min	13,540	10,323	11,943	9079	1027	0.19	<0.01	0.86
Clearance rate, %/min	3.00	1.18	2.02	1.23	0.502	0.36	0.01	0.31
Time to reach max	10.83	8.33	9.16	15.50	1.738	0.48	0.81	0.10
Insulin CR/Glucose CR	1.88	0.99	1.57	1.15	0.336	0.81	0.06	0.49
Insulin AUC/Glucose AUC	29.42	20.99	28.40	18.30	3.538	0.57	0.01	0.84

[a] Contrasts for BBW (birth body weight), MS (mineral source of starter feed) and interaction (BBW × MS).
[b] IM = inorganic minerals source; ACMS = advanced chelated mineral source.