

Научная статья

УДК 636.2:636.084

doi: 10.55196/2411-3492-2023-4-42-70-76

Потери энергии корма при пищеварении у крупного рогатого скота в разных условиях кормления

Муаед Алиевич Шалов^{✉1}, Мурат Назирович Туганов², Галина Николаевна Глотова³

¹⁻²Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В. М. Кокова, проспект Ленина, 1в, Нальчик, Россия, 360030

³Рязанский государственный агротехнологический университет им. П. А. Костычева, ул. Костычева, 1, Рязань, Россия, 390044

^{✉1}muaed.shalov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5889-0187>

²m.tuganov07@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5261-2116>

³galka270280@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0006-4957-3661>

Аннотация. В результате воздействия ферментных систем микроорганизмов в преджелудках жвачных происходит распад углеводов корма с образованием уксусной, пропионовой, масляной и других жирных кислот. Наряду с жирными кислотами в результате брожения углеводов в преджелудках образуется значительное количество газов. Часть газообразных продуктов – метан и водород – содержат энергию. Образование метана означает потерю энергии переваримых питательных веществ. За сутки у коров образуется 350-450 л метана, а у молодняка крупного рогатого скота образование метана постепенно возрастает, что связано со становлением преджелудочного пищеварения. Целью исследования было определение потерь энергии рационов различной структуры при ферментации у коров и молодняка крупного рогатого скота по соотношению летучих жирных кислот (ЛЖК) и по количеству и соотношению газов рубца, собранных масочным методом и в респираторной камере. Установлено, что у бычков, которым в качестве единственного корма скармливали сено тимофеевки или силос из овса с горохом, или солому ячменную, потери энергии корма при ферментации достигают 22-23,5%, а при использовании сбалансированных рационов 25% от энергии переваримых питательных веществ рациона.

Ключевые слова: крупный рогатый скот, структура рациона, ферментация корма, летучие жирные кислоты, газы рубца, камера, потери энергии корма

Для цитирования. Шалов М. А., Туганов М. Н., Глотова Г. Н. Потери энергии корма при пищеварении у крупного рогатого скота в разных условиях кормления // Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В. М. Кокова. 2023. № 4(42). С. 70–76. doi: 10.55196/2411-3492-2023-4-42-70-76

Original article

Loss of feed energy during digestion in cattle in different conditions of feeding

Muaed A. Shalov^{✉1}, Murat N. Tuganov², Galina N. Glotova³

¹⁻²Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov, 1v Lenin Avenue, Nalchik, Russia, 360030

³Ryazan State Agrotechnological University named after. P.A. Kostycheva, 1 Street Kostychev, Ryazan, Russia, 390044

^{✉1}muaed.shalov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5889-0187>

²m.tuganov07@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5261-2116>

³galka270280@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0006-4957-3661>

Abstract. In the proventriculus of ruminants, as a result of the action of enzyme systems of microorganisms, the breakdown of feed carbohydrates occurs with the formation of acetic, propionic, butyric and other fatty acids. Along with fatty acids, as a result of the fermentation of carbohydrates in the forestomach, a significant amount of gases is formed. Some of the gaseous products – methane and hydrogen – contain energy. The formation of methane means a loss of energy from digestible nutrients. Cows produce 350-450 liters per day. methane, and in young cattle the formation of methane gradually increases, which is associated with the formation of pregastric digestion. The purpose of the study was to determine the energy losses of diets of various structures during fermentation in cows and young cattle by the ratio of volatile fatty acids (VFA) – and by the amount and ratio of rumen gases collected by the mask method and in the respiration chamber. It has been established that in bull calves fed timothy hay or oat and pea silage, or barley straw as the only feed, the loss of feed energy during fermentation reaches 22-23.5%, and when using balanced diets it is 25% of the energy of digestible nutrients. dietary substances.

Keywords: cattle, diet structure, feed fermentation, volatile fatty acids, rumen gases, chamber, feed energy loss

For citation. Shalov M.A., Tuganov M.N., Glotova G.N. Loss of feed energy during digestion in cattle. *Izvestiya of Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov.* 2023;4(42):70–76. (In Russ.). doi: 10.55196/2411-3492-2023-4-42-70-76

Введение. Преджелудочное пищеварение у жвачных отличается более глубоким распадом углеводов и протеина корма по сравнению с гидролитическим расщеплением питательных веществ у моногастричных животных [1–3].

В результате воздействия ферментных систем микроорганизмов углеводы корма (клетчатка, крахмал, сахара) распадаются с образованием уксусной, пропионовой, масляной и ряда других низкомолекулярных жирных кислот. При этом часть энергии углеводов используется микроорганизмами. Из одного моля глюкозы образуется два моля уксусной кислоты, или два моля пропионовой кислоты, или моль масляной кислоты. Следует лишь подчеркнуть, что при синтезе уксусной кислоты теряется 36%, а при синтезе масляной кислоты – 19% энергии исходного субстрата. Синтез пропионовой кислоты происходит с приращением энергии. В зависимости от структуры рациона соотношение между синтезом отдельных кислот значительно изменяется, следовательно, и суммарные потери энергии корма будут непостоянными. При расщеплении клетчатки идет преимущественный синтез уксусной кислоты и метана, при ферментации крахмала образуется значительная часть пропионовой кислоты [4].

Часть газообразных продуктов ферментации питательных веществ в преджелудках – метан и водород – содержат энергию. Образование метана означает потерю энергии пе-

реваримых питательных веществ. За сутки у коров образуется 350-450 л метана, а у молодняка крупного рогатого скота образование метана постепенно возрастает, что связано со становлением преджелудочного пищеварения [5]. Неточный учет потерь энергии корма на ферментацию искажает общую картину энергетического обмена у крупного рогатого скота.

Цель исследования – определение потерь энергии рационов различной структуры при ферментации у коров и молодняка крупного рогатого скота по соотношению летучих жирных кислот (ЛЖК) и по количеству и соотношению газов рубца, собранных масочным методом и в респираторной камере.

Материалы, методы и объекты исследования. Исследования проводились в условиях вивария Всероссийского научно-исследовательского института физиологии, биохимии и питания животных (ВНИИФБиП) на 6 коровах симментальской породы, 3-4 отела с живой массой 500 – 520 кг и суточным удоем 22-24 кг молока и бычках на откорме с живой массой 150-200 кг. и приростом 800-900 г/сутки. Рацион кормления коров включал в себя (кг): злаково-разнотравное сено – 6, вико-овсянный силос – 30, комбикорм К-60 – 7,5, травяной муки – 3, и содержал ЭКЕ-19,4, ОЭ-194 МДж, переваримого протеина – 2400 г, сырой клетчатки – 4353 г, кальция – 196 г, фосфора – 114 г и соответствовал нормам Федерального ис-

следовательского центра животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста. Рацион бычков состоял из тех же кормов, но имел другую структуру по питательности, в зависимости от периода опыта.

Проведены исследования балансов энергии у коров и у растущих бычков. При этом валовую энергию корма, молока, кала и мочи определяли прямым методом – сжиганием проб в адиабатическом калориметре. Суточную теплопродукцию животных определяли по легочному газообмену – масочным методом. Для расчета потерь энергии корма при

ферментации предложен метод на основе определения соотношения уксусной, пропионовой и масляной кислот в рубцовой жидкости, с использованием коэффициентов потерь энергии для суммарных биохимических реакций [6].

Результаты исследования. Было установлено, что у бычков, которым в качестве единственного корма скармливали сено тимофеевки или силос из овса с горохом или солому ячменную, потери энергии корма при ферментации достигают 22-23,5% от энергии переваримых питательных веществ.

Таблица 1. Баланс энергии у бычков при низком уровне кормления, МДж
Table 1. Energy balance in bulls at a low feeding level, MJ

Показатели	Сено тимофеевки (средняя ж. м. бычков – 200 кг.)	Силос овса с горохом (средняя ж.м бычков – 156 кг.)	Солома ячменная (средняя ж.м. бычков – 158 кг.)
Валовая энергия	94,8±6,7	46,0±1,8	37,7±0,4
Потери энергии			
с калом	36,9± 2,2	22,3± 0,9	21,5 ± 1,0
с мочой	2,3± 0,1	1,9 ± 0,3	1,1 ± 0,1
при ферментации	13,4 ± 1,3	5,4 ± 0,3	4,0 ± 0,8
с теплопродукцией	37,1± 3,2	15,7 ± 1,1	10,4 ± 1,1
Энергия в приросте	5,1 ± 0,9	0,7 ± 0,5	(-1,0)

Особенностью такого типа кормления является преимущественное (90%) переваривание питательных веществ корма в преджелудках за счет ферментных систем микроорганизмов (табл. 2). При скармливании сена на синтез 73,08 моля уксусной кислоты необходимо 36,54 моля гексоз; на синтез пропионовой кислоты – 7,47 моля гексоз; на синтез масляной кислоты – 11,98 моля, или из 100 молей гексоз на синтез уксусной кислоты расходуется 64,95%; пропионовой – 13,46%; масляной – 21,59%. Следовательно, если условно все вещества, участвующие в ферментации, представить гексозами, то потери энергии на синтез ЛЖК составляют для данного примера:

$$(64,95 \times 36) + (-13,46 \times 10) + (21,59 \times 19) = 26,44\%$$

Для рациона, состоящего из силоса овса с горохом:

$$(70,44 \times 36) + (-18,85 \times 10) + (10,71 \times 19) = 25,50\%$$

Для рациона, состоящего из соломы ячменной:

$$(79,35 \times 36) + (-14,19 \times 10) + (6,46 \times 19) = 28,38\%$$

При использовании сбалансированных рационов, обеспечивающих прирост живой массы бычков свыше 1000 г в сутки, увеличивается количество потребляемого корма, изменяется распределение энергии корма: возрастает количество энергии в приросте, относительно снижаются потери энергии корма при ферментации в преджелудках (табл. 3, 4) [7–9].

В сбалансированных рационах прямые потери энергии корма при ферментации ниже, чем при использовании одних грубых кормов, кроме того они достаточно постоянны и составляют в среднем 22,45%.

Как следует из приведенных примеров, при расчете потерь энергии корма при ферментации в преджелудках по соотношению ЛЖК в рубцовой жидкости необходимо точно знать количество энергии питательных веществ, переваренных непосредственно в преджелудках. Использование для этой цели всей переваримой энергии корма приводит к ошибкам. Для сбалансированных рационов ошибки в расчетах возрастают.

Таблица 2. Соотношение ЛЖК в рубцовой жидкости у бычков и потери энергии корма при ферментации

Table 2. The ratio of VFA in the scar fluid in bull calves and the loss of feed energy during fermentation

Корма	Соотношение ЛЖК, молярный процент			Потери при ферментации, % от энергии, переваренных в преджелудках
	C ₂ (уксусная)	C ₃ (пропионовая)	C ₄ (масляная)	
Сено тимофеевки	73,08±0,56	14,94±0,47	11,98±0,28	26,44
Силос из овса с горохом	74,49±0,48	19,85±0,30	5,66±0,32	25,50
Солома ячменная	82,00±0,93	14,66±0,37	3,34±0,30	28,38
В среднем				26,77±0,85

Таблица 3. Баланс энергии у бычков при использовании сбалансированных рационов, МДж

Table 3. Energy balance in bulls when using balanced diets, MJ

Показатели	Структура рационов из натуральных кормов: грубые/концентраты, %			Структура рационов из гранулированных кормов: грубые/концентраты, %		
	60:40	50:50	40:60	60:40	50:50	40:60
Валовая энергия	110±3,4	113,6±4,1	118,7±1,9	120,6±4,4	136,8±6,0	140,8±4,8
Энергия кала	34,6±1,5	37,8±1,5	40,2±1,6	50,0±2,6	57,1±5,0	57,3±2,8
Энергия мочи	3,9±0,2	4,1±0,4	3,8±0,3	4,1±0,6	5,1±0,3	4,5±0,5
Потери энергии при ферментации	16,3±0,3	15,1±1,0	14,1±0,3	7,2±0,5	6,4±1,0	5,7±0,3
Теплопродукция	43,9±0,8	45,9±2,4	48,8±1,0	43,8±2,3	52,3±1,9	63,3±2,0
Энергия продукции	11,5±1,0	10,6±1,6	12,8±0,3	15,4±2,6	15,9±3,5	16,4±0,6

Таблица 4. Соотношение ЛЖК в рубцовой жидкости у бычков и потери энергии корма при ферментации

Table 4. The ratio of VFA in the scar fluid in bull calves and the loss of feed energy during fermentation

Структура рационов, %		Соотношение ЛЖК, молярный процент			Потери при ферментации, % от энергии питательных веществ, переваренных в преджелудках
грубые	конц. корма	C ₂ (уксусная)	C ₃ (пропионовая)	C ₄ (масляная)	
60	40	65,23	21,81	12,96	23,22
50	50	62,91	22,85	14,24	22,56
50	50	61,42	21,80	16,78	22,52
40	60	58,92	26,45	14,63	21,04
Среднее		–	–	–	22,45±0,66

В связи с этим была изучена возможность прямого измерения потерь энергии при ферментации у коров путем сбора газов (CH₄ и CO₂), образующихся в желудочно-кишечном тракте. В опытах на лактирующих

коровах сбор газов, образующихся в желудочно-кишечном тракте (ЖКТ), проводили двумя способами: 1 – через фистулу рубца; 2 – в респираторной камере. Первый метод не позволяет полностью собрать газы пище-

варительного тракта, но он дает возможность определения соотношения между метаном и углекислым газом. В респираторной камере удается определить абсолютное количество метана, образующегося в ЖКТ животных. Сочетание этих методов позволяет определить общее количество метана и углекислого

газа, образующегося за сутки в пищеварительном тракте животного. Зная calorific value метана и приняв энергетический эквивалент CO₂ равным 12 кДж/л, можно рассчитать фактические потери энергии корма при ферментации в пищеварительном тракте животного (табл. 5).

Таблица 5. Количество и соотношение газов в ЖКТ коров
Table 5. The amount and ratio of gases in the gastrointestinal tract of cows

Рационы по питательности, %			CH ₄ л/сутки	CO ₂ л/сутки	Соотношение CH ₂ /CO ₄ , %	Потери энергии с газами ЖКТ, МДж
сено, силос	трав. гр.-лы	конц-ты				
Сбор газов через фистулу рубца						
50	10	40	307±36	901±11	25,43/74,57	27,4±0,6
50	30	20	259±21	802±64	24,41/75,59	23,5±0,9
Сбор газов в респираторной камере						
50	10	40	393±13	не учтено	–	29,5±0,6
50	50	–	257±10	не учтено	–	17,7 ± 0,5

При использовании методики дуоденального и илеоцекального анастомозов на этих коровах получены прямые данные по переваримости питательных веществ в различных отделах пищеварительного тракта для рационов разной структуры (табл. 6). Из данных таблицы видно, что при концентратном типе рационов в сложном желудке переварено 110,2, а при включении 30% гранул и

20% концентратов – 94,2 МДж. На безконцентратном рационе в сложном желудке переварено 53,2, а в толстом отделе кишечника – 14,5, что в сумме составляет 67,7 МДж. Таким образом, прямые потери энергии корма при ферментации достигают 24,86, 24,95 и 26,14% от переваримой энергии использованных рационов (табл. 7).

Таблица 6. Динамика энергии корма в ЖКТ коров, МДж
Table 6. Dynamics of feed energy in the gastrointestinal tract of cows, MJ

Показатели	Структура рационов, % по питательности		
	грубые, сочные – 50 конц. – 40 тр. мука – 10	грубые, сочные – 50 конц. – 20 тр. мука – 30	грубые, сочные – 50 тр. мука – 50
Валовая энергия корма (ВЭ)	224,7±10,2	224,2±10,0	218,1±7,7
Поступило в тонкий кишечник	114,5±4,4	130,0±4,3	165±7,8
Поступило в толстый кишечник	75,8±2,9	79,2±2,8	102,7±5,3
Выделено с калом	76,3±2,5	80,1±5,6	88,2±6,7
Переварено:			
В сложном желудке	110,2±4,4	94,2±6,1	53,2±5,1
В тонком кишечнике	38,7±6,1	50,8±3,4	62,2±2,5
В толстом кишечнике	(-0,5)	(-0,9)	14,5±1,4

Таблица 7. Прямые затраты корма при ферментации
Table 7. Direct feed costs during fermentation

Структура рационов, %			Переварено, МДж			Прямые потери энергии корма при ферментации	
грубые, сочные	трав. гранулы	конц-ты	в сложном желудке	в толстом кишечнике	всего	МДж	% прямых потерь
50	10	40	110,2±4,4	–	110,2±4,4	27,4±0,6	24,86
50	30	20	94,2±6,1	–	94,2±6,1	23,5±0,9	24,95
50	50	–	53,2±5,1	14,5±1,4	67,7±3,7	17,7±0,5	26,14
В среднем			–	–	–	–	25,3±0,4

Выводы. При кормлении крупного рогатого скота монокормами потери при ферментации, определенные расчетным способом, составили 22-23,5%, при использовании гранул – 21,7%, а при сбалансированных рационах – 22,45% от энергии переваримых пита-

тельных веществ. При определении прямых потерь с использованием методики анастомозов было установлено, что потери при ферментации составляют 25% от переваримой энергии рациона.

Список литературы

1. Рядчиков В. Г. Основы питания и кормления сельскохозяйственных животных: учебник. Санкт-Петербург: «Лань», 2015. 640 с.
2. Катбертсон Д., Смит Д. Потребность жвачных животных в питательных веществах и энергии / Перевод с англ. канд. с.-х. наук А. А. Яковлева; Под ред. и с предисл. акад. проф. А. П. Дмитроченко. Москва: Колос, 1968. 415 с.
3. Мак-Дональд П. и др. Питание животных / перевод с англ. канд. с.-х. наук А. А. Яковлева. Москва: Колос, 1970. 503 с.
4. Агафонов В. И. Физиологические потребности в энергетических и пластических субстратах и нормирование питания молочных коров с учётом доступности питательных веществ (справочное руководство) / В. И. Агафонов, Б. Д. Кальницкий, А. В. Лысов и др. Боровск: ВНИИФБ и П с.-х. животных, 2007. 124 с.
5. Шалов М. А. Газоэнергетический обмен у дойных коров при использовании рационов с различным соотношением кормов и уровнем кормления: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Боровск, 1996. 21 с.
6. Надальяк Е. А., Агафонов В. И. и др. Изучение обмена энергии и энергетического питания у сельскохозяйственных животных: методические указания, ВНИИ физиологии, биохимии и питания с.-х. животных. Боровск, 1986. 56 с.
7. Буряков Н. П. Кормление высокопродуктивного молочного скота. Москва: Проспект, 2009. 416 с.
8. Кердяшов Н. Н. Биологические основы полноценного кормления высокопродуктивного молочного скота: монография. Пенза, 2009. 192 с.
9. Харитонов Е. Л., Агафонов В. И., Харитонов Л. В. Организация научно обоснованного кормления высокопродуктивного молочного скота: практические рекомендации. Боровск: ВНИИФБ и П с.-х. животных, 2008. 105 с.

References

1. Ryadchikov V.G. *Osnovy pitaniya i kormleniya sel'skokhozyaystvennykh zhi-votnykh* [Basics of nutrition and feeding of agricultural animals]: *uchebnik*. Saint-Petersburg: «Lan'», 2015. 640 p. (In Russ.)
2. Cuthbertson D., Smith D. *Potrebnost' zhvachnykh zhi-votnykh v pitatel'nykh veshchestvakh i energii* [Nutrient and energy requirements of ruminants]. Translation from English. Ph.D. agricultural Sciences A. A. Yakovleva; Ed. and with a preface. acad. prof. A. P. Dmitrochenko. Moscow: Kolos, 1968. 415 p. (In Russ.)
3. MacDonald P. [et al.]. *Pitaniye zhi-votnykh*. [Animal nutrition]. Translation from English Ph.D. agricultural Sciences A.A. Yakovleva. Moscow: Kolos, 1970. 503 p. (In Russ.)
4. Agafonov V.I. [et al.]. *Fiziologicheskiye potrebnosti v energeticheskikh i plasticheskikh substratakh i normirovaniye pitaniya molochnykh korov s uchotom dostupnosti pitatel'nykh veshchestv (spravochnoye rukovodstvo)* [Physiological needs for energy and plastic substrates and rationing of nutrition of dairy cows

taking into account the availability of nutrients (reference guide)]. Borovsk: *Borovsk: VNIIFB i P s.-kh. zhivotnykh*, 2007. 124 p. (In Russ.)

5. Shalov M.A. *Gazoenergeticheskiy obmen u doynnykh korov pri ispol'zova-nii ratsionov s razlichnym sootnosheniyem kormov i urovnem kormleniya* [Gas-energy metabolism in dairy cows when using diets with different feed ratios and feeding levels]: *avtoref. dis. ... kand. biol. nauk*. Borovsk, 1996. 21 p. (In Russ.)

6. Nadalyak E.A., Agafonov V.I. [et al.]. *Izucheniye obmena energii i energeti-cheskogo pitaniya u sel'skokhozyaystvennykh zhivotnykh* [Study of energy metabolism and energy nutrition in farm animals]: *metodicheskiye ukazaniya*, VNIIFB fiziologii, biokhimii i pitaniya s.-kh. zhivotnykh. Borovsk, 1986. 56 p. (In Russ.)

7. Buryakov N.P. *Kormleniya vysokoproduktivnogo molochnogo skota* [Feeding highly productive dairy cattle]. Moscow: Prospekt, 2009. 416 p.

8. Kerdyashov N.N. *Biologicheskiye osnovy polnotsennogo kormleniya vysoko-produktivnogo molochnogo skota* [Biological foundations of adequate feeding of highly productive dairy cattle]: *monografiya*. Penza, 2009. 192 p. (In Russ.)

9. Kharitonov E.L., Agafonov V.I., Kharitonov L.V. *Organizatsiya nauchno obosnovannogo kormleniya vysokoproduktivnogo molochnogo skota* [Organization of scientifically based feeding of highly productive dairy cattle]: *prakticheskiye rekomendatsii*. Borovsk: VNIIFB i P s.-kh. zhivotnykh, 2008. 105 p. (In Russ.)

Сведения об авторах

Шалов Муаяд Алиевич – кандидат биологических наук, доцент кафедры зоотехнии и ветеринарно-санитарной экспертизы, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В. М. Кокова»

Туганов Мурат Назирович – кандидат биологических наук, доцент кафедры ветеринарной медицины, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В. М. Кокова»

Глотова Галина Николаевна – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры зоотехнии и биологии, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет им. П. А. Костычева», SPIN-код: 4540-0239, Scopus ID: 57218251949

Information about the authors

Muayed A. Shalov – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of the Department of Animal Science and Veterinary and Sanitary Expertise, Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov

Murat N. Tuganov – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of the Department of Veterinary Medicine, Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov

Galina N. Glotova – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Animal Science and Biology, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, SPIN-code: 4540-0239, Scopus ID: 57218251949

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении и анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Author's contribution. All authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. All authors of this paper have read and approved the final version submitted.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 24.11.2023;
одобрена после рецензирования 08.12.2023;
принята к публикации 14.12.2023.

The article was submitted 24.11.2023;
approved after reviewing 08.12.2023;
accepted for publication 14.12.2023.