

Олигарха 600652 – 3,65 % и 3,6 % соответственно. Но у этих дочерей самый низкий процент белка, по дочерям других быков колебания процента белка составляет 3,1 – 3,2.

**Таблица 4 – Продуктивные качества дочерей разных быков-производителей**

Кличка быка-отца	Количество дочерей	Продуктивные качества		
		Удой, кг $X \pm m_x$	Жир, % $X \pm m_x$	Белок, % $X \pm m_x$
Камбо 400972	839	4477 ± 130,76	3,58 ± 0,024	3,2 ± 0,018
Один 600768	198	4595 ± 169,24	3,58 ± 0,012	3,1 ± 0,022
Джем 600630	438	4692 ± 203,1	3,53 ± 0,021	3,18 ± 0,017
Дюма 600781	422	2993 ± 98,18	3,65 ± 0,018	3,0 ± 0,015
Олигарх 600652	366	3366 ± 102,67	3,6 ± 0,022	2,98 ± 0,017
Денди 600698	419	3450 ± 93,47	3,57 ± 0,024	3,1 ± 0,022

**Заключение.** Суммируя результаты исследований можно сделать вывод, что продуктивность коров зависит от генотипа (породы, линии) быков-производителей. Наиболее продуктивными являются первотелки линии Вис Айдиала 9333122, их удой за лактацию составил 4307 кг, интенсивность молокоотдачи – 1,318 кг/мин.

*Литература.* 1. Эффективность линейного разведения коров белорусской черно-пестрой породы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.biblio-fond.ru/view.aspx?id=867550>. – Дата доступа: 29.05.2023. 2. Разведение животных по линиям и семействам [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://studfile.net/preview/3557963/page:5/>. – Дата доступа: 29.05.2023. 3. Караба, В. И. Разведение сельскохозяйственных животных : учебное пособие / В. В. Пилько, В. М. Борисов. – Горки: БГСХА, 2008. – 368 с.

УДК 636.4.033/636.02/637.661

## АНТИОКСИДАНТНАЯ АКТИВНОСТЬ КРОВИ ЖИВОТНЫХ: МЕТОДЫ АНАЛИЗА

**Зайцев С.Ю.**

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л.К.Эрнста»,  
Дубровицы, Россия

В крови присутствует большое количество веществ с антиоксидантной активностью (АОА). Своевременное получение данных об общей АОА крови животных очень важно. Общие принципы определения интегральной АОА базируются на «окислительно-восстановительных реакциях» и могут быть реализованы методами: окислительно-восстановительного титрования, спектральными, электрохимическими, кулонометрическим, вольтамперометрическим, потенциометрическим, амперометрическим и другими. Среди всех АОА показателей крови животных наиболее простым и информативным является определение его суммарного количества водорастворимых антиоксидантов (СКВА). СКВА крови животных является сложной, интегральной величиной, которая отражает свойство системы в целом. Предлагается рекомендовать такой показатель как СКВА (в интервале 15-20 мг/л) как «референтный» для крови гибридных свиней трех пород (крупная белая, Ландрас и Дюрок). **Ключевые слова:** кровь животных, антиоксидантная активность, методы анализа, окислительно-восстановительные реакции.

## ANTIOXIDANT ACTIVITY OF ANIMAL BLOOD: METHODS OF ANALYSIS

**Zaitsev S. Yu.**

Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L.K. Ernst,  
Dubrovitsy Russia

*There are a large number of substances with antioxidant activity (AOA) in the blood. Timely receipt of data on the total AOA of animal blood is very important. The general principles for determining integral AOA are based on “redox reactions” and can be implemented by methods: redox titration, spectral, electrochemical, coulometric, voltammetric, potentiometric, amperometric and others. Among all AOA indicators of animal blood, the simplest and most informative is the determination of its total amount of water-soluble antioxidants (TAWSA). The TAWSA of animal blood is a complex, integral quantity that reflects the property of the system as a whole. It is proposed to recommend such an indicator as TAWSA (in the range of 15-20 mg/L) as a “reference” for the blood of hybrid pigs of three breeds (large white, Landrace and Duroc). **Keywords:** animal blood, antioxidant activity, analysis methods, red-ox reactions.*

**Введение.** Стремительный рост населения в мире и необходимость в потреблении мяса приводят к интенсификации животноводства в большинстве стран мира и в России [1]. Актуальность данной работы связана со стремлением современного общества к получению полезных для здоровья продуктов питания, например, свинины, на долю которой приходится около трети объема в общей структуре потребления мяса в России [1]. В этой связи постоянно растет интерес к более детальному исследованию состояния антиоксидантной системы организма, особенно товарных гибридов, включая трехпородных свиней (крупная белая, Ландрас и Дюрок) [2].

**Методы исследования антиоксидантной активности.** Определение антиоксидантной активности (АОА) крови свиней является важной задачей, для чего используются «окислительно-восстановительные реакции» (ОВР), которые реализуются в различных биохимических и физико-химических методах [3-6]. Например, окислительно-восстановительное (ОВ) титрование относится к базовым химическим методам определения антиоксидантной активности [3, 6, 7], основу которых составляет метод ОВ титрования с использованием перманганата калия в качестве окислителя в пересчете на стандарт (например, на кверцетин). Показателем активности ( $A^*$ , что пропорционально АОА), служит объем препарата (БАВ восстанавливающего характера) в миллилитрах, израсходованный на титрование 1 мл 0,05 Н раствора перманганата калия. Причем, чем меньше объем препарата, израсходованный на титрование, тем выше АОА препарата ( $A^*$ ). Недостатками данного метода являются: необходимость достаточно больших объемов раствора препарата (БАВ) для повышения точности титрования и «визуальная фиксация точки эквивалентности», что увеличивает погрешность анализа.

Среди спектроскопических методов определения АОА одним из эффективных является метод «FRAP», основанный на «способности антиоксидантов восстанавливать ион железа(III)» [3, 8, 9]. При фотометрическом определении способности антиоксидантов восстанавливать железо используют различные индикаторные системы, «в состав которых входит Fe(III) и органический реагент, который образует окрашенный комплекс с восстановленной формой железа (Fe(II))» [6]. Однако, этим методом невозможно определить «сульфгидрильные SH-содержащие антиоксиданты» [6, 10], такие как глутатион и цистеин, что ограничивает представление о состоянии АОА. Помимо восстановления  $Fe^{3+}$  может быть использовано восстановление антиоксидантами  $Se^{4+}$  ( $\lambda=320$  нм) – «CRAC» и  $Cu^{2+}$  ( $\lambda=450$  нм) – «CUPRAC» [11, 12]. Необходимо отметить, что недостаточная изученность подобных комплексов и трудоемкость получения градуировок препятствуют широкому применению указанных методик [9].

Поскольку ОВ реакции, «определяющие антиоксидант/оксидантный баланс организма», являются электрохимическими, то именно эти методы оценки указанного параметра (АОА) можно рассматривать, как «максимально полно отвечающие природе явления» [13, 14]. Электрохимические методы характеризуются высокой чувствительностью и «экспрессностью». Считается, что «предел обнаружения полифенолов и флавоноидов» находится на уровне нанogramм и даже пикogramм [3], что является очень хорошим результатом.

Известны методы оценки антиоксидантных свойств БАВ, основанные на кулонометри-

ческом титровании их растворов «электрогенерированными титрантами» (типа  $Cl_2$ ,  $I_2$ ,  $Br_2$ ), генерацию которых осуществляют из растворов их солей [6, 15]. Конечную точку титрования фиксируют в «амперометрической системе с двумя платиновыми электродами» [6, 15]. Антиоксидантную емкость рассчитывают, «как количество электричества, затраченное на титрование (в пересчете на 100 г БАВ)» по соответствующим формулам [6, 16], в которых учитывается сила тока ( $I$ , амперы); время достижения конечной точки титрования ( $t$ , сек.); объемы антиоксиданта и аликвоты (т.е.  $V_1$  и  $V_2$ , мл). Положительно, что уже запатентована модификация данного метода определения АОА «в растительном сырье в пересчете на танин путем кулонометрического титрования» [16]. Этот метод отличается тем, что используется взаимодействие исследуемого БАВ с «кулонометрическим титрантом - гипоиодит-ионами, образующимися при диспропорционировании электрогенерированного йода в щелочной среде» [16].

Активно используются известные методы «циклической вольтамперометрии» (ЦВА) для определения АОА биопроб (растворов БАВ, «экстрактов растений» и т.п.) [6, 17]. Антиоксидантные свойства БАВ в этом случае оцениваются как сочетание нескольких параметров ЦВА. Например, «параметр  $E_{1/2}$ » или «потенциал полупика», необходим для идентификации веществ, «образующих пики тока при анодной развертке»; тогда как «величина пика анодного тока или площадь под анодной кривой отражают концентрацию антиоксидантов» [6, 17]. Результаты исследований показали, что «на количество анодных волн и величину  $E_{1/2}$ » оказывают существенное влияние не только особенности прибора и проведения ЦВА (материал и форма рабочего электрода и другие), но и «качественный состав экстракта» [6, 17]. Главным недостатком метода является то, что «положение максимумов тока на анодных кривых», полученных для экстрактов различных биопроб и даже органов животных (при прочих равных условиях) «может смещаться в пределах более, чем 200 мВ» [6]. В случае появления такого смещения или «дополнительных анодных волн», требуется применение дополнительных анализов, подтверждающих качественный и количественный состав антиоксидантов (например, высокоэффективной жидкостной хроматографии [3]).

Достаточно простым и информативным является «потенциометрический метод с медиаторной системой», который адаптирован к анализу широкого круга различных биопроб [3, 6, 18]. Медиатором служит система  $K_3[Fe(CN)_6]/K_4[Fe(CN)_6]$ . В качестве модели окислителя для потенциометрического определения антиоксидантной активности обычно используют окисленную форму металла в составе комплексного соединения. Потенциал измеряется после прохождения химической реакции между антиоксидантами исследуемого образца и используемым реагентом, и последующей добавки реагента или образца.

**Результаты и обсуждение амперометрического метода исследования антиоксидантной активности крови свиней.** Среди всех антиоксидантных показателей крови свиней наиболее простым и информативным является определение его суммарного количества водорастворимых антиоксидантов (СКВА) амперометрическим методом, что подтверждается многочисленными публикациями и данными [3, 5, 18]. Многие другие методы анализа являются «непрямыми», т.к. в них измеряется «ингибирование реакционных смесей, содержащих свободные радикалы», образующиеся в результате определенных процессов и реакций [3, 5, 18]. Амперометрическое детектирование заключается в измерении электрического тока в ячейке, возникающего при окислении (восстановлении) БАВ на электроде (наиболее универсален - «стеклоуглерод» [4]). Чувствительность детектора очень высокая из-за малых величин шумов, ( $d 10^{-12}$  А). В качестве элюента использовали раствор ортофосфорной кислоты (2,2 ммоль/дм<sup>3</sup>), а стандарта – «рабочие растворы» галловой кислоты (100 мг/дм<sup>3</sup>) с массовой концентрацией от 0,2 до 4,0 мг/дм<sup>3</sup>, что детально описано в работах [11, 43]. Сигнал от анализируемых образцов молока отображается в виде пиков на калибровочном графике, для дальнейшего пересчета используется площадь пика (нА/с) [4, 5, 18]. Расчет массовой концентрации антиоксидантов ( $X$ , мг/г) проводят эквивалентно галловой кислоте по градуировочному графику с учетом разведения (если оно проводилось) по уравнению 2 [4, 5, 18]:

$$X = (X_{\Gamma} \cdot N \cdot V_n) / (m_n \cdot 1000),$$

где  $X_g$  – массовая концентрация антиоксидантов, найденная по градуировочному графику, мг/л;  $N$  – кратность разбавления анализируемого образца;  $V_n$  – объем раствора (экстракта) анализируемой пробы, мл;  $m_n$  – навеска анализируемого вещества, г. [4, 5, 18].

Впервые определена суммарная концентрация водорастворимых антиоксидантов (СКВА) в сыворотке крови гибридных свиней трех пород при снятии с откорма: выборка 1)  $19,2 \pm 1,3$  мг/л ( $n=58$ ); выборка 2)  $15,6 \pm 1,4$  мг/л ( $n=56$ ). Эти значения для свиней получены впервые и интервал 15-20 мг/л может рассматриваться как «референтный» для гибридных свиней трех пород (крупная белая, Ландрас и Дюрок) при снятии с откорма.

**Заключение.** Таким образом, в крови присутствует большое количество веществ с антиоксидантной активностью. Своевременное получение данных об общей АОО крови животных очень важно, однако определение количественного содержания конкретных веществ с антиоксидантной активностью требует длительных и дорогостоящих исследований. Среди всех антиоксидантных показателей крови животных наиболее простым и информативным является определение его суммарного количества водорастворимых антиоксидантов, что подтверждается многочисленными публикациями и данными, изложенными на научно-практических конференциях. СКВА крови животных является сложной, интегральной величиной, которая отражает свойство системы в целом. Таким образом, предлагается рекомендовать такой показатель как СКВА (в интервале 15-20 мг/л) как «референтный» для крови гибридных свиней трех пород (крупная белая, Ландрас и Дюрок).

*Исследования проведены при поддержке Российского научного фонда, грант №20-16-00032-П.*

**Литература.** 1. Зайцев С. Ю., Боголюбова Н. В. Развитие свиноводства и анализ современного рынка свинины в России // *Ветеринария, зоотехния и биотехнология*. – 2021. – № 7. – С. 51-57. 2. Зайцев С. Ю., Боголюбова Н. В., Молянова Г. В. Биохимический анализ крови ряда пород свиней и их гибридов. Монография. – Москва : Издательство «Сельскохозяйственные технологии», 2022. – 256 с. 3. Зайцев С. Ю. Антиоксидантная активность молока. Дубровицы: ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им. Л.К. Эрнста, 2022. 56 с. 4. Яшин Я.И. Природные антиоксиданты – неотъемлемая часть здорового и полноценного питания и защита человека от опасных болезней и старения // *Вопросы питания*. – 2014. Т. 83 № 3. – С.39. 5. Савина А. А., Воронина О. А., Боголюбова Н. В. и др. Амперометрическое детектирование антиоксидантной активности модельных и биологических жидкостей // *Вестник Московского университета. Серия 2: Химия*. – 2020. – Т. 58. № 2. – С. 97-103. 6. Гринеева, О. В. Методы определения антиоксидантной активности объектов растительного и синтетического происхождения в фармации (обзор) // *Разработка и регистрация лекарственных средств*. 2017. – Т. 21. № 4. – С. 180-197. 7. Noyhouzer T., Kohenb R., Mandler D. A new approach for measuring the redox state and redox capacity in milk // *Analytical Methods*. 2009. Vol. 1. Pp. 93–99. 28. Cui L., Decker E.A. // *J. Sci. Food Agric*. 2016. Vol. 96. – P. 18-31. 8. Larsen N., Werner B. B., Vogensen F. K., et al. Effect of dissolved oxygen on redox potential and milk acidification by lactic acid bacteria isolated from a DL-starter culture // *Journal of Dairy Science*. 2015. Vol. 98. Is. 3. – P. 1640-1651. 9. Kuhn S., Moacyr J. R., Mayer J. K., et al. Phenolic content and ferric reducing-antioxidant power of cow's milk produced in different pasture-based production systems in southern Brazil // *J. Sci. Food Agric*. 2014. Vol. 94 No. 15. P. 3110-3117. 10. Amamcharla J. K., Metzger L. E., Modification of the ferric reducing antioxidant power (FRAP) assay to determine the susceptibility of raw milk to oxidation // *International Dairy Journal*. 2014. Vol 34. Is. 2. P. 177-179. 11. Çekiç S. D., Demir A., Başkan K.S., et al. Determination of total antioxidant capacity of milk by CUPRAC and ABTS methods with separate characterisation of milk protein fractions // *J Dairy Res*. 2015. Vol. 82. No. 2. P.177-84. 12. Mann S., Shandilya U. K., Sodhi M., et al. Determination of Antioxidant Capacity and Free Radical Scavenging Activity of Milk from Native Cows (*Bos Indicus*), Exotic Cows (*Bos Taurus*), and Riverine Buffaloes (*Bubalus Bubalis*) Across Different Lactation Stages // *Int J Dairy Sci Process*. 2016. Vol. 3. No. 4. P. 66-70. 13. Ivanova A. V., Gerasimova E. L., Gazizullina E. R., et al. Study of the Antioxidant Activity and Total Polyphenol Concentration of Medical Plants // *Journal of Analytical Chemistry*. 2017. Vol. 72. No. 4. p. 415-420. 14. Ziyatdinova G., Kalmykova A. Electrochemical Characterization of the Antioxidant Properties of Medicinal Plants and Products: A Review // *Molecules*. 2023. Vol 28. No. 5. P. 2308. 15. Kala R., Samková E., Hanuš O., et al. Milk protein analysis: an overview of the methods – development and application // *Acta Univer. Agricul. et Silviculturae Mendelianae Brunensis*. 2019. Vol. 67. No. 1. P. 345-359. 16. Korotkova E. I., Karbainov Y. A., Avramchik O. A. Investigation of antioxidant and catalytic properties of some biological-active substances by voltammetry // *Anal. and Bioanal. Chem*. 2003. Vol. 375. No. 1-3. Pp. 465–468. 17. Иванова А. В., Герасимова Е. Л., Кравец И. А. и др. Потенциометрическое определение водорастворимых антиоксидантов с использованием комплексов металлов // *Журнал аналитической химии*. 2015. Т. 70. № 2. С. 156-160. 18. Зайцев С.Ю., Савина А.А., Боголюбова Н.В. Изменение суммарного количества антиоксидантов в молоке коров разового удоя на пике лактации // *Аграрная наука*. 2022. №12. С. 45-50.