УДК 636.082.474:591.3 DOI 10.33845/0033-3239-2021-70-7-8-50-55

Массообмен воздуха в инкубаторах с учетом дыхательной активности куриных эмбрионов

Салеева И.П., доктор сельскохозяйственных наук, профессор член-корр. РАН, главный научный сотрудник

ФГБНУ Федеральный научный центр «Всероссийский научно-исследовательский и технологический институт птицеводства» РАН (ФНЦ «ВНИТИП» РАН)

Овчинников А.В., кандидат технических наук, старший научный сотрудник

Пащенко Ю.И., доктор биологических наук, профессор, ведущий научный сотрудник

Борисевич Г.В., кандидат биологических наук, старший научный сотрудник

Горячева Н.А., техник отделения обеспечения

Кутаев Д.А., кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, зам. начальника института по научной работе

Борисевич С.В., доктор биологических наук, профессор, член-корр. РАН, начальник института

ФГБУ «48 Центральный научно-исследовательский институт» Министерства обороны РФ (ФГБУ «48 ЦНИИ» МО РФ), г. Сергиев Посад

Аннотация: *В статье приведены результаты исследования массообмена различных инкубаторов на основе измерения коэффициента массообмена воздуха в секции. Приведены рекомендации по значениям коэффициентов массообмена с учетом дыхательной активности куриных эмбрионов для ограничения содержания CO_2 в секции инкубатора не выше выбранного уровня и при различной загрузке на предприятиях по производству птицы и птицепродуктов.*

Ключевые слова: *коэффициент массообмена, дыхательная активность, углекислый газ, куриный эмбрион, инкубатор.*

Введение. Несмотря на то, что все биохимические реакции в процессе эмбриогенеза протекают в яйце, которое отделено от внешней среды скорлупной оболочкой, данная система развивающегося куриного эмбриона не является замкнутой. Для нормального развития необходимо снабжение эмбриона кислородом и отвод газообразных продуктов, выделяющихся в процессе биохимических превращений.

Основной газообразный компонент, выделяющийся при дыхании эмбриона – углекислый газ. При полной загрузке секций промышленных инкубаторов интенсивность подвода O_2 и отвода CO_2 в них становятся существенными. При недостаточной вентиляции инкубатора в его воздушной среде будет накапливаться в нежелательных концентрациях углекислый газ, что будет отрицательно сказываться на развитии эмбриона [1,2].

Многочисленными исследованиями установлено, что кратность обмена воздуха в больших инкубаторах должна составлять несколько объемов секции инкубатора в час, а именно $K_в$ =(4-6) $ч^{-1}$. При меньших значениях скорости обмена воздуха в инкубаторе, кроме повышения уровня CO_2, может стать неоптимальной скорость обдува инкубационных яиц, что отразится на нормальной динамике потери массы яйца в процессе инкубации.

С технической стороны измерение кратности воздухообмена в инкубаторе имеет некоторые особенности. Для точной оценки количества воздуха, поступающего в инкубатор, необходимо знать распределение воздушных скоростей по площади входного отверстия. Если площадь ввода воздуха вполне реально измерить, то получение информации о поле скоростей воздуха на входе является непростой задачей. Поэтому для оценки вентиляционных способностей инкубатора целесообразнее использовать такие параметры, как коэффициенты массообмена по CO_2 (K_{CO2}) и кислороду (K_{O2}). С точки зрения направленности процесса десорбции CO_2 показатель K_{CO2} соответствует коэффициенту десорбции по углекислому газу, то есть $K_{дCO2}$. Исходя из того, что эти процессы симметричны (равнозначны), считаем $K_{CO2} = K_{дCO2}$.

Аналогичный способ используется для оценки массообменных характеристик и условий культивирования клеток в ферментерах (биореакторах), в которых выращивают суспензионные культуры клеток для получения различных медицинских иммунобиологических препаратов [3].

С точки зрения поглощения кислорода эмбрионами в инкубаторе показатель K_{O2} соответствует коэффициенту абсорбции по кислороду, то есть $K_{абO2}$. Исходя из того, что эти процессы симметричны (равнозначны), считаем $K_{O2} = K_{абO2}$.

K_{O2} и K_{CO2} характеризуют разные стороны процесса вентилирования секций инкубатора и в общем не тождественны друг другу; они зависят от многих факторов, в том числе от коэффициентов диффузии O_2 и CO_2 в воздухе, которые тоже несколько различаются между собой. Тем не менее, с достаточной для практики точностью мы будем считать $K_{O2} = K_{CO2}$. Общую оценку массообменных характеристик инкубатора будем проводить по показателю K_{CO2}, т.к. доступные в настоящее время датчики CO_2 имеют хорошие показатели по точности и по допустимой концентрации углекислого газа, создаваемого в инкубаторе в процессе измерения K_{CO2}. Сущность оценки заключается в снятии кривых изменения концентрации кислорода и/или углекислого газа в инкубаторе (кривых абсорбции и десорбции).

Материал и методика исследований. Работа проведена в СГЦ «Загорское ЭПХ» - филиал ФНЦ «ВНИТИП» РАН.

С математической точки зрения, исходя из модели, предполагающей, что скорость десорбции или абсорбции газов пропорциональна движущей силе процесса – разнице концентраций газов внутри и снаружи инкубатора, – динамика изменения концентрации CO_2 в воздушном объеме секции инкубатора описывается уравнением при десорбции газа:

$$C = C_i e^{-k\tau} \quad (1)$$

и, соответственно, при абсорбции газа:

$$C = C_i(1-e^{-k\tau}) \quad (2)$$

где C_O – значения концентрации газа в инкубаторе в начальный момент времени, моль·дм$^{-3}$, C – текущее значение концентрации газа во времени, моль·дм$^{-3}$; τ – время, ч; k – коэффициент массообмена для газа при десорбции или абсорбции, ч$^{-1}$. В наших представлениях параметр k есть коэффициент массообмена инкубатора, то есть $k = K_{O2} = K_{CO2}$.

Результаты исследований и их обсуждение. Для определения требуемого коэффициента массообмена применяли уравнение (3), предложенное авторами в работе [3] для определения необходимого коэффициента массопередачи для культуры клеток, выращиваемых в биореакторах в суспензии:

$$K_{CO2} = Q_{эмбр} \cdot X / (C_{co2зад} - C_{co2\ чист}) \quad (3)$$

где K_{CO2} – коэффициент массообмена секции инкубатора по углекислому газу, ч$^{-1}$; $Q_{эмбр}$ – дыхательная активность куриного эмбриона по CO_2, см^3·ч$^{-1}$; X – количество заложенных эмбрионов в секции

Таблица 1.Результаты расчета дыхательной активности Q по CO_2 куриного эмбриона в процессе эмбриогенеза

	Продолжительность инкубирования, сутки								
	1	2	5	6	8	9	11	14	15
Q, см^3·ч$^{-1}$	0,027	0,055	0,63	0,54	1,34	1,76	3,8	19,38	35,94
	-	0,052	0,73	-	1,54	2,07	-	-	-
	-	-	-	-	1,29	2,05	-	-	-
Q, ср. см^3·ч$^{-1}$	0,027	0,0535	0,68	0,54	1,38	1,96	3,8	19,38	35,94

Таблица 2. Рекомендуемые значения K_{CO2} в инкубаторе «Универсал-45» с объемом секции 6 м^3 при различной загрузке и дыхательной активности куриных эмбрионов

Дыхательная активность эмбриона, Q, ср. см^3·ч$^{-1}$ (на сутки инкубирования)	Уровень CO_2 в инкубаторе, %	Рекомендуемые значения коэффициентов массообмена K_{CO2} в инкубаторе «Универсал-45» при загрузке инкубационными яйцами, шт.				
		15000	5000	1500	500	200
1,96 (на 9 сут.)	2	0,25	0,083	0,025	0,0083	0,0033
	0,2	2,5	0,083	0,25	0,083	0,033
3,8 (на 11 сут.)	2	0,48	0,16	0,048	0,016	0,064
	0,2	4,8	1,6	0,48	0,16	0,64
19,38 (на 14 сут.)	2	2,47	0,82	0,247	0,082	0,033
	0,2	24,7	8,2	2,47	0,82	0,33
35,94 (на 15 сут.)	2	4,59	1,53	0,46	0,15	0,061
	0,2	45,9	15,3	4,6	1,5	0,61
16,6 (по данным литературы)	2	2,1	0,7	0,21	0,07	0,03
	0,2	26	8,7	2,6	0,87	0,35

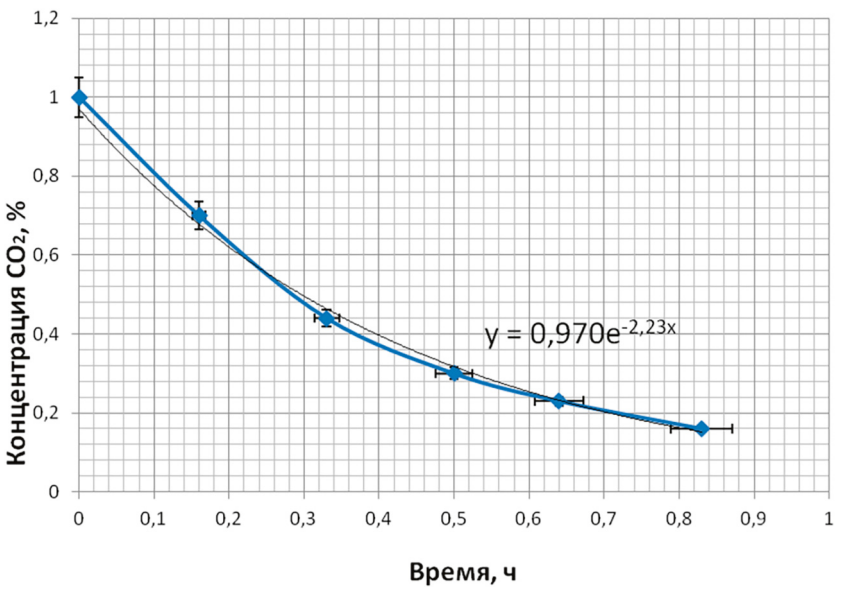

Рисунок 1. Десорбция CO_2 в инкубаторе «Универсал-45» в процессе вентиляции, заслонка закрыта (Н = 0 мм), K_{co2} = 2,23 ч$^{-1}$.

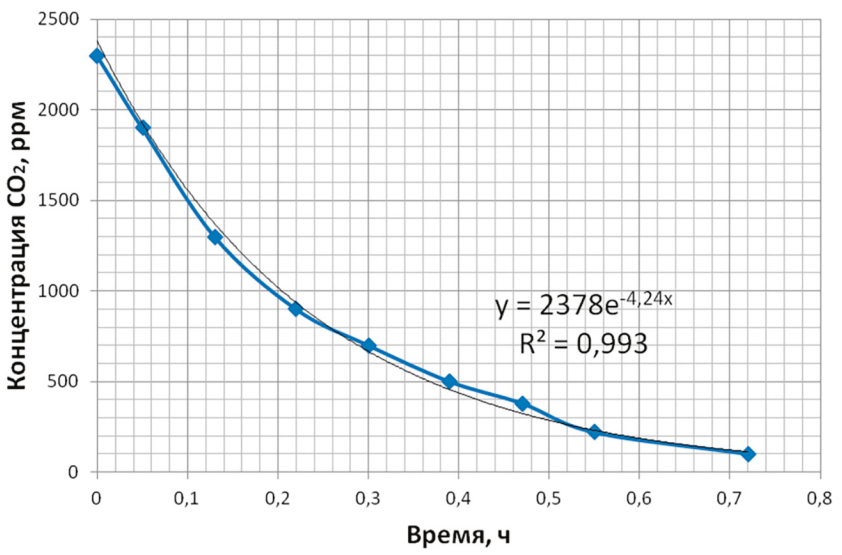

Рисунок 2. Десорбция CO_2 в инкубаторе «Универсал-45» в процессе вентиляции, заслонка в среднем положении (Н = 2 мм), K_{co2} = 4,24 ч$^{-1}$.

инкубатора, шт.; $C_{co2зад}$ – заданное (текущее) общее содержание CO_2 в объеме (V) секции инкубатора, см^3; $C_{co2\ чист}$ – содержание CO_2 в объеме (V) проветренной секции инкубатора, т.е. самые низкие значения содержания CO_2.

Минимальные значения показателя $C_{co2чист}$ приближаются к содержанию углекислого газа на свежем воздухе (0,04% по объему).

В уравнении (3) в неявном виде присутствует объем секции инкубатора. Действительно, при расчете общего заданного содержания CO_2 в секции инкубатора $C_{co2зад}$ и общего содержания CO_2 в секции инкубатора при полном проветривании $C_{co2\ чист}$ мы рассматривали содержание углекислого газа в секции инкубатора объемом V. Преобразуем уравнение (3) и заменим содержание газа в объеме на его процентное содержание в воздухе:

$$K_{CO2} = Q_{эмбр} \cdot X \cdot 100 / V(C_{co2зад}(\%) - C_{co2\ чист}(\%) \quad (4)$$

где K_{CO2} – коэффициент массообмена инкубатора по углекислому газу, ч$^{-1}$; $Q_{эмбр}$ – дыхательная активность куриного эмбриона по CO_2, см^{3}ч$^{-1}$; X – количество заложенных эмбрионов в секции инкубатора, шт.; V – объем секции инкубатора, см^3; $C_{co2зад}$ (%)– заданное (текущее) процентное содержание CO_2 в секции инкубатора, %; $C_{co2\ чист}$ (%) – процентное содержание CO_2 в секции инкубатора при полном проветривании, (0,04% для свежего воздуха).

Уравнение (4) позволяет определить необходимую интенсивность вентиляции секции через оценку K_{CO2} инкубатора в зависимости от загрузки X, объема V, процентного уровня CO_2 и дыхательной активности эмбриона $Q_{эмбр}$.

Используя уравнение (4), мы рассчитали коэффициенты массообмена в инкубаторе «Универсал-45» (с объемом секции 6 м^3, при различной загрузке), при которых содержание CO_2 не будет превышать заданный максимальный уровень для выбранного периода инкубации. Необходимые для этого данные по дыхательной активности куриных эмбрионов (табл. 1) были получены нами в предыдущих исследованиях [4]. Результаты расчетов рекомендуемых значений K_{CO2} представлены в табл. 2.

Для лабораторных исследований при потребности в 11-14 суточных развивающихся эмбрионах кур (РЭК) и загрузок до 500-1500 инкубационных яиц рекомендуемые значения K_{CO2} для инкубатора «Универсал-45» составляют 0,82-2,47 ч$^{-1}$. При таком уровне массообмена концентрация CO_2 в секции инкубатора не превышает 0,2% по объему, что вполне приемлемо. В то же вре-

мя, при полной загрузке инкубатора «Универсал-45» на уровне 15000 инкубационных яиц требования к массообменным характеристикам существенно возрастают: K_{CO2} = 45,9 ч$^{-1}$ в конце процесса инкубации, чтобы содержание CO_2 в секции не превышало 0,2%, и K_{CO2} = 4,59 ч$^{-1}$ при содержании CO_2 до 2,0%. Необходимо отметить, что создание в инкубаторах интенсивного массообмена воздуха усложняет задачу поддержания заданного уровня влажности и приводит к увеличению расхода распыляемой воды в секции инкубатора.

По нашим экспериментальным данным, требования к массообменным характеристикам инкубатора получились более высокими, чем по расчетам на основе дыхательной активности эмбриона 16,6 см^3·ч$^{-1}$ из данных других исследователей. Это можно видеть по двум нижним строкам в табл. 2.

Для оценки реальных массообменных условий вентиляции нами проведены измерения коэффициентов массообмена K_{CO2} в отечественном инкубаторе «Универсал-45» и в импортных инкубаторах: «Danki-5000» и «Sanyo MIR-795». Для этого в секцию инкубатора (температура 37,8^{0}С, относительная влажность 54,5%) подавали небольшими порциями углекислый газ до уровня, который мог измерить применяемый датчик. Мы использовали следующие датчики: MH-Z16 – максимальный уровень измерения содержания CO_2 до 10% или 100000 ppm; MH-Z19 – 0,5% или 5000 ppm.

После наполнения секции углекислым газом включали вентиляцию инкубатора и измеряли динамику содержания CO_2 по времени. Результаты измерений обрабатывали средствами Microsoft Office Excel. Показатель

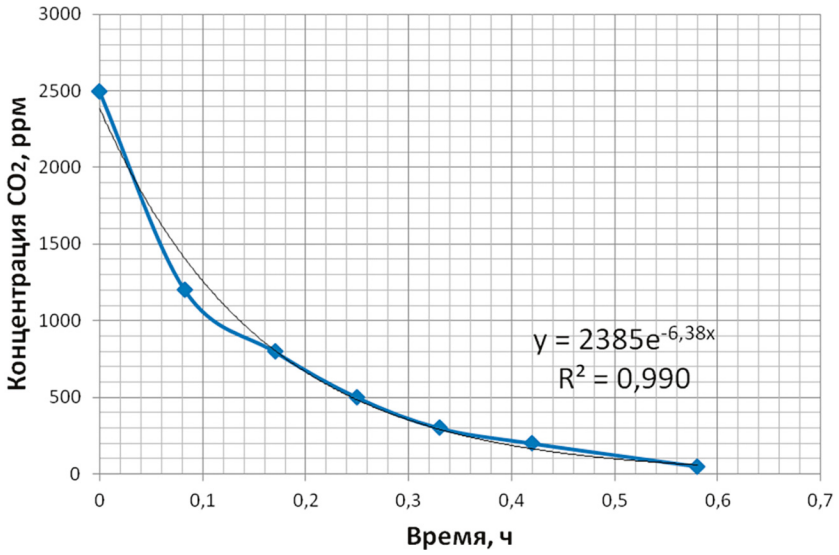

Рисунок 3. Десорбция CO_2 в инкубаторе «Универсал-45» в процессе вентиляции, заслонка открыта (Н = 12 мм), K_{co2} = 6,38 ч$^{-1}$.

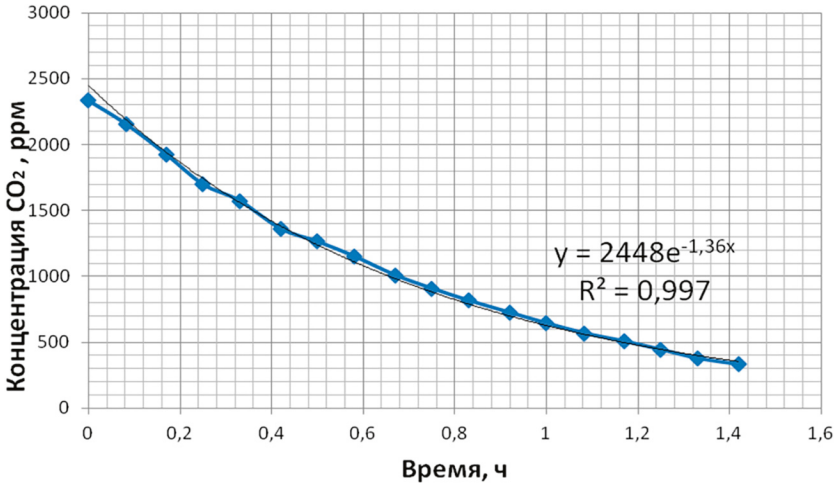

Рисунок 4. Десорбция CO_2 в инкубаторе «Danki-5000» в процессе вентиляции, заслонка закрыта (0%), K_{co2} = 1,36 ч$^{-1}$.

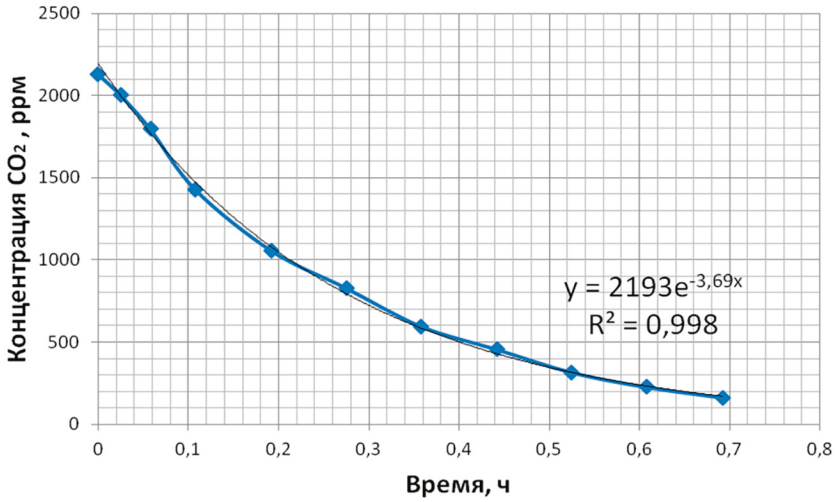

Рисунок 5. Десорбция CO_2 в инкубаторе «Danki-5000» в процессе вентиляции, заслонка открыта на 50%, K_{co2} = 3,69 ч$^{-1}$.

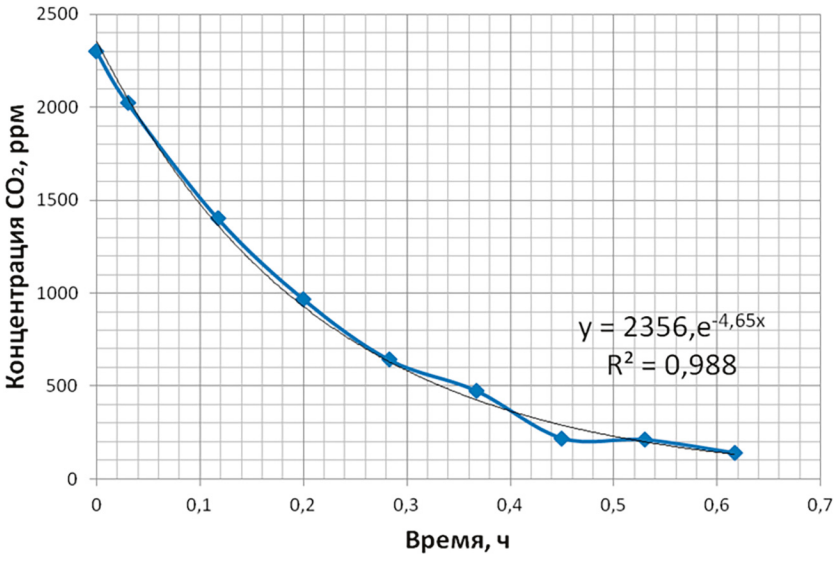

Рисунок 6. Десорбция CO_2 в инкубаторе «Danki-5000» в процессе вентиляции, заслонка открыта на 100 %, K_{co2} = 4,65 ч$^{-1}$.

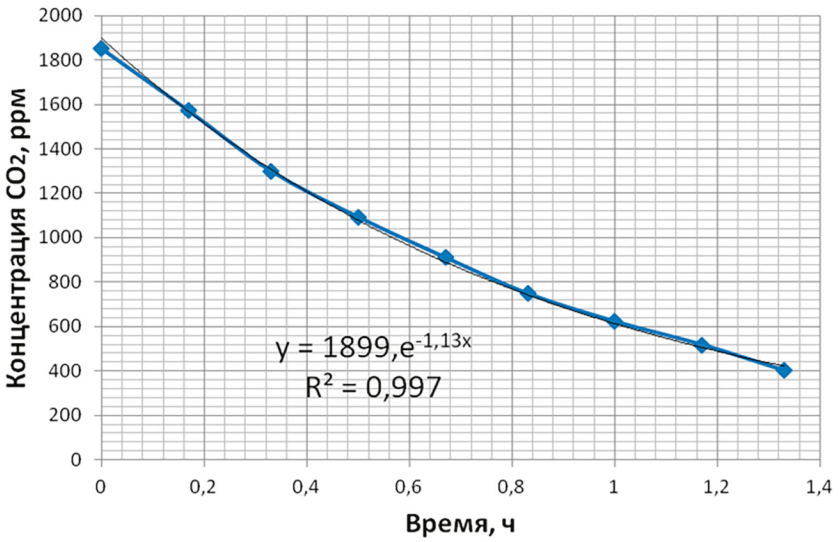

Рисунок 7. Десорбция CO_2 в инкубаторе «Sanyo MIR-795» в процессе вентиляции, заводская настройка, K_{co2} = 1,13 ч$^{-1}$.

при экспоненте в уравнении линии тренда есть искомый коэффициент массообмена по углекислому газу, т.е. K_{CO2}. На рис. 1-7 представлены результаты исследования динамики снижения содержания CO_2 в отечественном и импортном инкубаторах в процессе вентиляции.

Экспериментальные результаты, представленные на рис. 1-7, также аппроксимированы линиями тренда из приложения Excel по уравнению (1). Хорошее совпадение экспериментальных результатов с теоретическими данными, рассчитанными по модели уравнения (1), подтверждает правильность наших модельных представлений о ходе процесса.

Наибольший коэффициент массообмена воздуха в инкубаторе «Универсал-45», подключенного к заводской вентиляции, в наших экспериментах получился при открытой воздушной заслонке (Н = 12 мм) и составил K_{CO2} = 6,38 ч$^{-1}$. В соответствии с данными табл. 2, при таком уровне массообмена воздуха и полной загрузке 15000 яиц концентрация углекислого газа будет менее 2%.

Коэффициент массообмена по углекислому газу для инкубатора «Универсал-45» при приоткрытой воздушной заслонке (Н = 2 мм) K_{CO2} = 4,24 ч$^{-1}$. Величина этого показателя может считаться приемлемой для обеспечения научных исследований на РЭК при разработке вакцинных препаратов, при закладке до 2000 инкубационных яиц.

Заключение. Предложен способ оценки вентиляционных свойств инкубаторов по их массообменным характеристикам, в частности, коэффициенту массообмена по углекислому газу K_{CO2}. Параметр K_{CO2} является интегральным индивидуальным показателем для каждого инкубатора при данном режиме работы заводской вентиляции, объеме секции и степени открытия воздушной заслонки. Основа оценки K_{CO2} состоит в снятии кривых изменения концентрации углекислого газа в инкубаторе в процессе десорбции (выветривания) при различных положениях воздушной заслонки и режима работы заводской вентиляции.

Уравнения для оценки необходимой интенсивности массообмена воздуха в инкубаторах с учетом дыхательной активности эмбриона для обеспечения содержания CO_2 не выше заданного уровня позволяют предсказать уровень его содержания в секции в различный период инкубации при различной загрузке в данных реальных условиях. Дальнейшим направлением наших научных исследований будет сравнение экспериментально наблюдаемых предельных уровней содержания углекислого газа в секции инкубатора со значениями, рассчитанными по методике, представленной в данной работе.

Коэффициент массообмена K_{CO2} инкубатора является универсальным показателем, позволяющим сравнивать условия инкубирования в различных промышленных инкубаторах, подключенных в заводской вентиляции, характеристики которой могут различаться на различных предприятиях. Проведение предварительной оценки промышленных инкубаторов по коэффициенту массообмена воздуха позволяет оценить их реально допустимую максимальную загрузку при производстве птицы и птицепродуктов уже на начальном этапе работы при существенной экономии при отработке технологии.

Литература

1. Бессарабов Б.Ф. Практикум по инкубации яиц и эмбриологии сельскохозяйственной птицы. - М.: Агропромиздат, 1985. - 175 с.
2. Третьяков Н.П., Бессарабов Б.Ф., Крок Г.С. Инкубация с основами эмбриологии. - М.: Агропромиздат, 1990. - 192 с.
3. Васильев Н.Н., Амбросов В.А., Складнев А.А. Моделирование процессов микробиологического синтеза. - М.: Лесная промышленность, 1975. - 305 с.
4. Салеева И.П. Динамика дыхательной активности куриного эмбриона в процессе инкубации / И.П. Салеева, Овчинников А.В., Пащенко Ю.И., Борисевич Г.В., Чуркин И.А., Сазонов В.Е., Рубцов В.В., Борисевич С.В. // Птица и птицепродукты. - 2020. - №6. - С. 23-26.

Для контакта с авторами:

Салеева Ирина Павловна
E-mail: saleeva@vnitip.ru
Овчинников Александр Викторович
E-mail: avo-18@yandex.ru
Пащенко Юрий Иванович
Борисевич Галина Валентиновна
Горячева Наталья Александровна
Кутаев Дмитрий Анатольевич
Борисевич Сергей Владимирович

The Air Weight Exchange in the Incubators with Regard to the Respiratory Embryonic Activity

Saleeva I.P.[1], Ovchinnikov A.V.[2], Pashchenko Yu.I.[2], Borisevich G.V.[2], Goryacheva N.A.[2], Kutaev D.A.[2], Borisevich S.V.[2]

[1]Federal Scientific Center "All-Russian Research and Technological Institute of Poultry" of Russian Academy of Sciences; [2]48th Central Research Institute of Ministry of Defense of Russian Federation (Sergiev Posav, Moscow Province)

Summary: *The air weight exchange in different incubators was studied by the calculation and direct measurement of weight exchange coefficients for carbon dioxide. The recommendable values of weight exchange coefficients with due regard to the respiratory activity of chicken embryos at different loading of the incubators with the eggs are presented which can maintain the required levels of carbon dioxide concentration within the incubators and can be used in the commercial incubatories for the optimization of the incubation regimes.*

Keywords: *air weight exchange, embryonic respiratory activity, carbon dioxide, chicken embryo, incubators.*

ОТРАСЛЕВЫЕ НОВОСТИ

Активный рост цен на кормовые аминокислоты в России продолжается

В настоящее время на мировом рынке сохраняется повышенный спрос на аминокислоты, что связано с высокими ценами на зерно и дефицитом растительных кормов из-за засухи во многих регионах мира. Рост рынка аквакультуры подстегивает спрос на аминокислоты, и велика вероятность, что после сентября цены могут вырасти еще.

По данным еженедельного отчета агентства Feedlot, ситуация на рынке метионина стабильна. Рыночный спрос со стороны конечных потребителей остается слабым, поскольку у них пока имеются достаточные запасы этой аминокислоты. Тем не менее, ряд производителей приостановили производство в связи с проведением профилактических работ в летний период, что в ближайший месяц может привести к небольшому росту цен из-за дефицита предложения.

В настоящий момент цена на метионин в России составляет 3,29 евро/кг. За месяц она укрепилась на 16%. Цена в ЕС и Китае заметно ниже: 2,50 евро/кг и 2,30 евро/кг соответственно.

Аналогичная картина наблюдается на рынке треонина. И если в Европе и Китае цена на треонин в течении месяца практически не менялась, в России она выросла на 11% и на сегодня держится на отметке 2,00 евро/кг.

Что касается лизина, то из-за снижения цен на кукурузу и ослабления рыночного спроса стоимость гидрохлорид лизина невысока и неуклонно снижается. За месяц цена на лизин в Китае опустилась на 7,5% до 1 евро/кг, и некоторые производители продают его по цене на уровне себестоимости.

Источник: emeat.ru