

экстенсивность инвазии снизилась, соответственно, в 9 и 2,3 раза; количество кокцидий составило $1,2 \pm 0,15$ экзemplяров при экстенсивности инвазии 43%.

Также нами было установлено, что в первой группе телят диарея прекратилась на второй день лечения, среднесуточный прирост телят $520 \pm 0,35$ г, сохранность 100%.

Во второй группе телят диарея продолжалась $3,57 \pm 0,2$ дня, среднесуточный прирост телят $350 \pm 0,54$ г, сохранность 100%.

Заключение. Таким образом, экстенсэффективность противококцидиозного комплекса «Азитронит + Миксоферон» составила 57%. При этом количество ооцист уменьшилось до $1,2 \pm 0,15$ экз., диарея телят продолжалась в среднем $3,6 \pm 0,2$ дня, интенсэффективность препарата составила 89%.

Максимальную противококцидиозную эффективность показал Галокур. Экстенсэффективность составила 86%. При этом количество ооцист уменьшилось до $0,14 \pm 0,03$ экз., диарея телят продолжалась в среднем, интенсэффективность препарата составила 99%.

Литература. 1. Климова, Е. С. Эймериоз и криптоспориديоз крупного рогатого скота / Е. С. Климова, М. Э. Мкртчян // *Современные проблемы общей и частной паразитологии : материалы III международного паразитологического симпозиума.* - 2019. - С. 136-139. 2. Коррекция микробиоценоза кишечника новорожденных телят / Андреева А.В. [и др.] // *Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н. Э. Баумана.* - 2015. - Т. 222. - № 2. - С. 16-18. 3. Торопова, Т. В. Анализ паразитарной ситуации по гельминтозам крупного рогатого скота / Т. В. Торопова // *Научные труды студентов Ижевской ГСХА.* - 2020. - С. 590-592.

УДК 619-07:636:612.3:636.4-053

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЛЕКТИНОВ КУКУРУЗЫ, ОТВЕТСТВЕННЫХ ЗА НАРУШЕНИЕ ВСАСЫВАНИЯ НУТРИЕНТОВ В КИШЕЧНИКЕ ПОРОСЯТ

Ковалёнок Ю.К., Добровольский С.А.

УО «Витебская ордена «Знак Почета» государственная академия ветеринарной медицины», г. Витебск, Республика Беларусь

Введение. Известно, что некоторые антипитательные компоненты растений препятствуют нормальному усвоению микроэлементов. В первую очередь к ним относятся широко изучаемые лектины [1]. Многочисленными исследованиями было показано, что лектиновые белки бобовых негативно влияют на всасывание, пищеварение и биодоступность нутриентов [2–4]. Однако на сегодняшний день нет экспериментальных данных о влиянии лектинов кукурузы на транспорт микроэлементов в кишечнике. Один из наиболее известных лектинов кукурузы - фактор агрегации β -глюкозидазы (BGAF) - представляет собой узелковый белок, состоящий из N-концевого дириджент домена и C-концевого жакалин-подобного домена, способный агглютинировать эритроциты кролика. Было показано, что N-ацетилгалактозамин способен эффективно подавлять гемагглютинирующую активность BGAF лектина [5]. Наши эксперименты с изучением влияния лектинов кукурузы на биодоступность солей меди, цинка, кобальта и железа показали, что

лиофилизированный грубый экстракт лектинов кукурузы значительно снижает абсорбцию меди (11,3%) и железа (16,4%) [6].

Целью наших исследований являлось определение типа реагирующих лектинов кукурузы и переносчиков меди и железа, участвующих в нарушении абсорбции.

Материалы и методы исследований. Предметом исследований являлось изучение взаимодействий между лектинами кукурузы и транспортерами меди и железа кишечника поросят. Методологически реализация цели осуществлялась путём компьютерного моделирования *in silico*.

Применение данных методов в биологии заключается в использовании комплексных вычислительных моделей и симуляций для изучения биологических явлений. Наиболее широко данный метод используется в области разработки новых лекарств, когда необходимо проверить силу взаимодействия потенциальных лекарственных молекул (лигандов) и специфических целей – их рецепторов. *In silico* методы позволяют быстро и дешево провести скрининг большого числа потенциально активных молекул для последующего детального экспериментального изучения *in vitro* и *in vivo*.

В нашей работе для проверки взаимодействия использовались модели лектинов кукурузы и переносчики меди и железа, реконструированные с помощью SWISS-MODEL [7]. Полученные модели стыковались попарно с помощью сервера ZDOCK [8]. Программа ZDOCK использует сеточное представление двух белков и 3-мерное (3D) быстрое преобразование Фурье (БПФ) для эффективного исследования пространства поиска твердого тела в позициях стыковки [8]. По относительной величине значения единиц стыковки (ZScore) делали вывод о силе связывания между лектином и целевым белком. Величина менее 1500 свидетельствует о отсутствии взаимодействия, более 2200 – о высокой вероятности взаимодействия. В нашей работе мы рассматриваем Zscore более 2300 как взаимодействия лектин-переносчик.

Модели лектиновых белков кукурузы (10 известных классов) служили лигандами для целевых рецепторов – основных переносчиков меди и железа. В качестве целевых рецепторов было отобрано 5 белков-переносчиков, локализованных в кишечнике поросят. Субстрат рецептора эпидермального ростового фактора, заведомо не взаимодействующие с лектинами, служил негативным контролем.

Результаты исследований. Установлено (таблица), что среди 10 типов лектинов кукурузы наиболее вероятно галектин, лектин бобовых, акалин-подобный лектин и хитин-связывающий белок 1 типа ответственны за нарушение абсорбции меди и железа. Из изученных переносчиков железа только Переносчик двухвалентных металлов 1 (DMT1) показал высокий уровень связывания со всеми 4 указанными типами лектинов кукурузы. Из переносчиков меди только транспортер меди (Q8WNR0) показал взаимодействие с лектином бобовых и хитин-связывающий белок 1 типа. Другие изученные переносчики меди (Транспортер меди, АТФаза, α ; Транспортер меди, АТФаза, β и Транспортер меди, АТФаза, 1) не показали взаимодействия с лектинами кукурузы.

Таблица – Максимальные величины значений стыковки (ZScore) между лектином и рецептором

Переносчик	Тип лектина									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Субстрат рецептора эпидермального ростового фактора, Ед.	1244	1291	1321	1310	857	1209	1289	1289	1058	1209
Переносчик двухвалентных металлов 1 (DMT1), Ед.	2478	1951	2444	2077	1796	1799	2141	2514	2023	2339
Транспортер меди, Ед.	1946	1808	2378	1776	1635	1847	2233	2152	1827	2580
Транспортер меди, АТФаза α , Ед.	1859	2094	2195	1682	1505	1643	2105	1991	1819	2232
Транспортер меди, АТФаза β , Ед.	2024	1927	2258	1716	1450	1779	1886	2253	2096	2294
Транспортер меди, АТФаза 1, Ед.	1928	1664	2176	1659	1376	1505	2028	1927	1753	1929

Примечания: 1 – галектин; 2 – лектин С-типа; 3 – лектин бобовых; 4 – агглютинин; 5 – галактоза-рамноза узнающий лектин; 6 – В-рицин; 7 – OS9 подобный белок; 8 – акалин-подобный лектин; 9 – лектин булб-типа; 10 – хитин-связывающий белок 1 типа.

Результаты исследований. Полученные данные свидетельствуют, что переносчик двухвалентных металлов 1 (DMT1) наиболее подвержен негативному влиянию лектинов кукурузы. DMT1 является одним из основных переносчиков, поддерживающих гомеостаз 2х валентных металлов. Известно, что данный белок непосредственно участвует в переносе Mn^{2+} , Fe^{2+} , Co^{2+} , Cd^{2+} , а также опосредованно регулирует уровни Cu^{2+} , Mn^{2+} , Co^{2+} и Pb^{2+} . Сразу 4 типа лектинов показали высокие значения связывания с DMT1: галектин (2478 Ед.), лектин бобовых (2444 Ед.), акалин-подобный лектин (2514 Ед.) и хитин-связывающий лектин 1 типа (2339 Ед.). Уровень связывания с другими типами лектинов значительно ниже, например, для OS9 подобного белка всего 2141 Ед., что значительно ниже указанного порогового значения (2300 Ед.).

Транспортер меди, с другой стороны, является крайне специфичным по отношению к меди. Несмотря на то, что для него показано взаимодействие только с лектином бобовых (2378 Ед.) и Хитин-связывающим белком 1 типа (2580), данное взаимодействие является самым сильным для всех изученных лектинов и переносчиков. Таким образом, принимая во внимание высокий уровень экспрессии данного переносчика в тканях кишечника [9], необходимо принимать во внимание значительный негативный эффект, который хитин-связывающий белок 1 типа может оказывать на абсорбцию меди.

Следует также отметить, что 2 лектина (лектин бобовых и хитин-связывающий белок 1 типа), взаимодействующих с обоими переносчиками, являются превалирующими лектинами в семенах кукурузы. Основная функция данных лектинов - защита растений от различных вредителей [10]. Полученные данные открывают несколько возможностей для создания более эффективного усвоения комбикормов, содержащих кукурузу. Наиболее простым методом является непосредственная нейтрализация указанных лектинов с помощью

добавления лектин-специфичных сахаров. Другим интересным методом является создание мутантных линий кукурузы, с пониженной экспрессией генов, кодирующих указанные лектины. Данный подход, при условии сохранения устойчивости к патогеном, будет более простым с точки зрения приготовления кормов.

Негативный контроль, используемый в нашем исследовании, показал уровень связывания с лектинами кукурузы в среднем в 2 раза ниже, чем исследуемые белки (минимум – 857 Ед. для галактоза/рамноза узнающего лектина, максимум – 1321 Ед. для лектина бобовых). В целом, это свидетельствует о эффективности нашего методического подхода.

Заключение. В результате наших исследований было определено, что лектины кукурузы (галектин, лектин бобовых, акалин-подобный лектин и хитин-связывающий белок 1 типа) способны связываться с переносчиком двухвалентных металлов 1 (DMT1) и транспортер меди (Q8WNR0), вызывая нарушения абсорбции железа и меди, соответственно.

Литература. 1. *The Effect of Plant Proteins Derived from Cereals and Legumes on Heme Iron Absorption* / V. Weinborn [et al.] // *Nutrients*. – 2015. – № 7. – P. 8977–8986. 2. *Dietary soya beans and kidney beans stimulate secretion of cholecystokinin and pancreatic digestive enzymes in 400-day-old Hooded-Lister rats but only soya beans induce growth of the pancreas* / G. Grant [et al.] // *Pancreas*. – 2000. – № 20. – P. 305–312. 3. *Greer, F. Toxicity of kidney bean (Phaseolus vulgaris) in rats: changes in intestinal permeability* / F. Greer, A. Puztai // *Digestion*. – 1985. – № 32. – P. 42–46. 4. *Puztai, A. Transport of proteins through the membranes of the adult gastro-intestinal tract – a potential for drug delivery?* / A. Puztai // *Adv. Drug Deliv. Rev.* – 1989. – № 3. – P. 215–228. 5. *Maize β -Glucosidase-aggregating Factor Is a Polyspecific Jacalin-related Chimeric Lectin, and Its Lectin Domain Is Responsible for β -Glucosidase Aggregation* / F. S. Kittur [et al.] // *J. Biol. Chem.* – 2007. – № 282. – P. 7299–7311. 6. *Dabravolski, S. A. Effect of corn lectins on the intestinal transport of trace elements* / S. A. Dabravolski, Y. K. Kavalionak // *J. Consum. Prot. Food Saf.* – 2020. – № 15. – P. 163–170. 7. *The SWISS-MODEL Repository—new features and functionality* / S. Bienert [et al.] // *Nucleic Acids Res.* – 2017. – № 45. – P. 313–319. 8. *Chen, R. Docking unbound proteins using shape complementarity, desolvation, and electrostatics* / R. Chen, Z. Weng // *Proteins Struct. Funct. Genet.* – 2002. – № 47. – P. 281–294. 9. *Nose, Y. Ctr1 drives intestinal copper absorption and is essential for growth, iron metabolism, and neonatal cardiac function* / Y. Nose, B.-E. Kim, D. J. Thiele // *Cell Metab.* – 2006. – № 4. – P. 235–244. 10. *Dual-function protein in plant defence: seed lectin from Dolichos biflorus (horse gram) exhibits lipoxygenase activity* / S. Roopashree [et al.] // *Biochem. J.* – 2006. – № 395. – P. 629–639.

УДК 631.15:606+620.3

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НАНОЧАСТИЦ СЕРЕБРА И МЕДИ ПРИ КОНСТРУИРОВАНИИ КОМПЛЕКСНЫХ ВЕТЕРИНАРНЫХ ПРЕПАРАТОВ (аналитический обзор)

Красочко П.А., Понаськов М.А., Корочкин Р.Б.

УО «Витебская ордена «Знак Почета» государственная академия ветеринарной
медицины», г. Витебск, Республика Беларусь