УДК: 612.313:577.152.321

# ВЛИЯНИЕ СЛЮННОЙ АМИЛАЗЫ НА ПЕРЕВАРИВАЕМОСТЬ КРАХМАЛА В БИНАРНЫХ КРАХМАЛО-БЕЛКОВЫХ СИСТЕМАХ ПРИ РАЗЛИЧНОМ СООТНОШЕНИИ КРАХМАЛА И БЕЛКОВ



Джалалова Озода Касимджановна, Алейник Владимир Алексеевич, Бабич Светлана Михайловна, Хамракулов Шарифжон Хашимович
1 - Андижанский государственный медицинский институт, Республика Узбекистан, г. Андижан;
2 - Андижанский филиал Института иммунологии и геномики человека Академии наук Республики Узбекистан

# СЎЛАК АМИЛАЗАСИНИНГ ТУРЛИ КРАХМАЛ ВА ОҚСИЛ НИСБАТЛАРИДАГИ БИНАР КРАХМАЛ-ОҚСИЛ ТИЗИМЛАРИДА КРАХМАЛНИНГ ҲАЗМ БЎЛИШИГА ТАЪСИРИ

Джалалова Озода Касимджановна, Алейник Владимир Алексеевич, Бабич Светлана Михайловна, Хамракулов Шарифжон Хашимович
1 - Андижон давлат тиббиёт институти, Ўзбекистон Республикаси, Андижон ш.;
2 - Ўзбекистон Республикаси Фанлар академияси Инсон иммунологияси ва геномикаси институти Андижон филиали

# EFFECT OF SALIVARY AMYLASE ON STARCH DIGESTIBILITY IN BINARY STARCH-PROTEIN SYSTEMS AT VARIOUS STARCH-TO-PROTEIN RATIOS

Djalalova Ozoda Kasimdjanovna, Aleinik Vladimir Alekseevich, Babich Svetlana Mikhailovna, Khamrakulov Sharifjon Khashimovich
1 - Andijan State Medical Institute, Republic of Uzbekistan, Andijan;
2 - Andijan Branch of the Institute of Human Immunology and Genomics, Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan

e-mail: djalalova.ozoda@gmail.com

***Резюме.*** *Тадқиқот мақсади: турли крахмал ва оқсил нисбатларидаги бинар крахмал-оқсил тизимларида сўлак амилазасининг крахмал ҳазм бўлишига таъсирини ўрганиш. Материал ва усуллар: in vitro шароитида картошка, маккажўхори ва буғдой крахмалининг желатинизацияланган сувли суспензиялари оқсилсиз ҳамда казеин, зардоб альбумини ёки тухум оқсили қўшилган ҳолда крахмал:оқсил 5:1, 1:1 ва 1:5 нисбатларида текширилди. Намуналар одамнинг янги аралаш сўлаги билан 30 дақиқа давомида инкубация қилинди, қолдиқ крахмал йод реакцияси ёрдамида баҳоланди. Натижалар: сўлак таъсиридан кейин эркин крахмал миқдори 100% дан картошка крахмалида 29% гача, маккажўхори крахмалида 35% гача ва буғдой крахмалида 25% гача камайди (p<0,001). Сўлаксиз оқсил иштирокида у 5:1 нисбатда 63–67%, 1:1 нисбатда 76–82% ва 1:5 нисбатда 86–91% ни ташкил этди. Оқсил-крахмал тизимларига сўлак қўшилганда эркин крахмал миқдори мос равишда 30–48%, 47–63% ва 60–70% гача камайди, аксарият ҳолларда фарқ ишончли бўлди; энг паст кўрсаткичлар зардоб альбумини қўшилганда ва буғдой крахмалида, энг юқори кўрсаткичлар эса маккажўхори крахмалида қайд этилди. Хулоса: оқсил-крахмал тизимларида крахмалнинг ҳазм бўлиши сўлак α-амилазасининг гидролитик таъсири ва оқсилларнинг ҳимоя-матрица таъсири нисбати билан белгиланади; гидролиз учун энг қулай шароит 5:1 нисбатда шаклланади, оқсил устунлиги (1:5) эса оғиз бўшлиғи ва ошқозоннинг бошлангич босқичида крахмалнинг ферментга очиқлигини чеклайди.*

***Калит сўзлар:*** *сўлак амилазаси, крахмал-оқсил тизимлари, ҳазм бўлиш, крахмал ва оқсилларнинг турли нисбатлари.*

***Abstract.*** *Aim: to study the effect of salivary amylase on starch digestibility in binary starch–protein systems at various starch-to-protein ratios. Materials and methods: gelatinised aqueous suspensions of potato, corn and wheat starch were studied in vitro without protein and with casein, serum albumin or egg white protein at starch:protein ratios of 5:1, 1:1 and 1:5. The samples were incubated with fresh mixed human saliva for 30 min, and residual starch was assessed by the iodine reaction. Results: after exposure to saliva, free starch decreased from 100% to 29% for potato, 35% for corn and 25% for wheat starch (p<0.001). In the presence of proteins without saliva, it amounted to 63–67% at 5:1, 76–82% at 1:1 and 86–91% at 1:5. Adding saliva to protein–starch systems reduced free starch to 30–48%, 47–63%*

*and 60–70%, respectively, in most cases significantly; the lowest values were observed with serum albumin and for wheat starch, the highest for corn starch. Conclusion: starch digestibility in protein–starch systems is determined by the balance between the hydrolytic action of salivary α-amylase and the protective matrix effect of proteins; the most favourable conditions for hydrolysis occur at a 5:1 ratio, whereas protein predominance (1:5) limits starch accessibility to the enzyme at the oral and initial gastric stages of digestion.*

***Keywords:*** *salivary amylase, starch–protein systems, digestibility, starch-to-protein ratio.*

Крахмал является основным источником энергии в рационе человека. Длительное потребление продуктов, богатых быстроусвояемым крахмалом (БУК), может способствовать развитию метаболических нарушений – ожирения, сахарного диабета 2 типа и сердечно-сосудистых заболеваний [1, 3]. Экзогенные белки способны не только замедлять переваривание крахмала, но и улучшать усвояемость и пищевую ценность продуктов [6, 13], поэтому сравнение их влияния на перевариваемость крахмала и изучение соответствующих механизмов имеет практическое значение.

Различные экзогенные белки ингибируют быстрое переваривание крахмала [11, 15], причём выраженность этого эффекта неодинакова. Среди пяти растительных белков только рисовый белок снижал содержание БУК в пшеничном крахмале при приготовлении под давлением [2]. Пшеничный белок и изолят сывороточного белка подавляли гидролиз крахмала в лапше из сорго сильнее, чем белок куриного яйца [9]. Сравнительных исследований немного, но они указывают на специфические различия экзогенных белков в способности ингибировать переваривание крахмала, механизмы которых нуждаются в дальнейшем изучении. López-Barón и соавт. [7] показали, что экзогенные растительные белки, снижающие содержание БУК в пшеничном крахмале, образуют покрывающий слой на поверхности крахмальных гранул или внедряются внутрь них. В крахмальной матрице с подавленным перевариванием обнаружены также непрерывные сетчатые структуры экзогенных белков [14]. Кукурузный белок и его гидролизаты способствуют агрегации крахмальных гранул при жарке, что может уменьшать контакт крахмала с амилолитическими ферментами за счёт меньшей удельной поверхности [4]. Распределение белков в крахмальной матрице может служить удобной точкой отсчёта при сравнении механизмов ингибирования разными экзогенными белками.

Замедление переваривания крахмала обычно сопровождается подавлением его желатинизации: повышением температуры клейстеризации, снижением энтальпии, вязкости клейстера и набухающей способности [10]. Усвояемость крахмала тесно связана с его многоуровневой структурой [12], а структуры более высокого порядка замедляют быстрое переваривание. Ингибирующее действие экзогенных белков, по-видимому, во многом обусловлено их влиянием на желатинизацию и упорядоченную структуру крахмала. В исследовании Liu и соавт. с увеличением содержания сывороточного белка желатинизация крахмала подавлялась, а ближняя упорядоченность его структуры возрастала, что приводило к снижению усвояемости крахмала [5]. В то же время, по данным Luo и соавт., фибриллы рисового глютелина, наиболее эффективно ингибирующие переваривание крахмала, обладают слабой способностью усиливать его упорядоченную структуру [8]. Следовательно, изменения желатинизации и структуры крахмала лишь частично объясняют ингибирующее действие экзогенных белков, и для понимания его механизмов необходимо учитывать особенности распределения белков в крахмальной матрице.

**Цель исследования:** изучить влияние слюнной амилазы на перевариваемость крахмала в бинарных крахмало-белковых системах при различном соотношении крахмала и белков.

**Материал и методы.** В исследовании in vitro оценивали влияние слюнной α-амилазы на переваривание крахмала в бинарных крахмало-белковых системах. В качестве модельных пищевых субстратов использовали водные суспензии картофельного, кукурузного и пшеничного крахмала. Для получения бинарных композиций к каждому виду крахмала добавляли белковые компоненты – казеин, сывороточный альбумин и яичный белок – в соотношениях крахмал:белок 5:1, 1:1 и 1:5. Были сформированы шесть групп образцов: 1-я – крахмал (контроль), 2-я – крахмал + слюна, 3-я – крахмал + белок, 4-я – крахмал + казеин + слюна, 5-я – крахмал + сывороточный альбумин + слюна, 6-я – крахмал + яичный белок + слюна.

Перед ферментативным воздействием все образцы подвергали термической обработке до полной желатинизации, обеспечивающей разрушение нативной структуры крахмальных гранул и формирование однородной дисперсной системы. После охлаждения модельные композиции инкубировали со свежей смешанной слюной человека в течение 30 мин при одинаковых экспериментальных условиях. Слюну получали методом свободного сплевывания от здоровых добровольцев непосредственно перед исследованием, что позволяло использовать образцы с сохранённой естественной активностью слюнной α-амилазы.

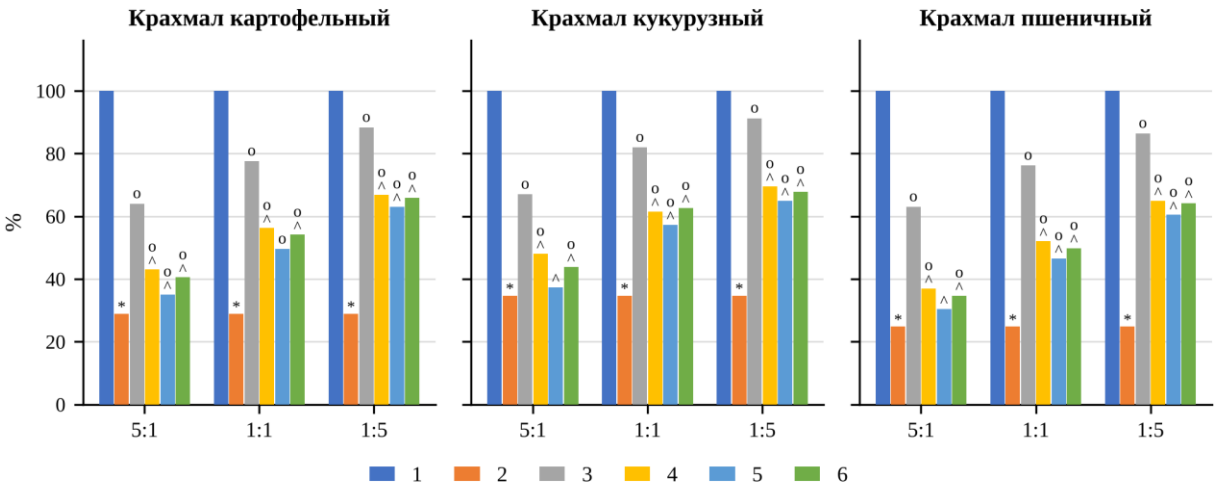



**Рис. 1.** Содержание свободного крахмала (%) под влиянием слюны в присутствии различных белков при соотношении крахмала и белков 5:1, 1:1 и 1:5.

*Примечание: 1 – крахмал; 2 – крахмал + слюна; 3 – крахмал + белок; 4 – крахмал + казеин + слюна; 5 – крахмал + сывороточный альбумин + слюна; 6 – крахмал + яичный белок + слюна; * – различия достоверны по сравнению с показателями 1-й группы (крахмал); о – по сравнению с показателями 2-й группы; ^ – по сравнению с показателями 3-й группы.*

Степень переваривания крахмала оценивали по остаточному содержанию непереваренного крахмала с помощью йодной реакции. После завершения инкубации к образцам добавляли йодный реактив и оценивали интенсивность окрашивания, которую использовали как косвенный показатель количества сохранившегося крахмала: её уменьшение свидетельствовало о более выраженном гидролитическом расщеплении крахмала слюнной α-амилазой. Полученные результаты позволяли определить характер изменения содержания остаточного крахмала и установить влияние вида и количественного соотношения белкового компонента на доступность крахмала для ферментативного гидролиза в модельных бинарных системах.

Статистическую обработку результатов выполняли методами вариационной статистики. Для каждого показателя рассчитывали среднее арифметическое (M) и стандартную ошибку среднего (m). Достоверность различий между группами определяли с помощью критерия Стьюдента–Фишера (t). Статистически значимыми считали различия при $p<0,05$.

**Результаты и обсуждение.** В исходных образцах крахмала (1-я группа) содержание свободного крахмала принимали за 100% при всех соотношениях крахмал:белок. После инкубации крахмала со слюной (2-я группа) этот показатель достоверно снижался: для картофельного крахмала – до 29±1,6%, кукурузного – до 35±2,2%, пшеничного – до 25±1,2% (во всех случаях $p<0,001$). Это свидетельствует о выраженном гидролитическом действии слюнной α-амилазы и достаточно высокой доступности крахмального субстрата для ферментативного расщепления. В присутствии белков без добавления слюны (3-я группа) содержание свободного крахмала оставалось значительно выше, чем после воздействия одной слюны. При соотношении 5:1 оно составляло 64±5,2% для картофельного, 67±5,5% для кукурузного и 63±4,9% для пшеничного крахмала ($p<0,001$ по сравнению со 2-й группой). При увеличении доли белка до соотношений 1:1 и 1:5 содержание свободного крахмала возрастало соответственно до 76–82% и 86–91%. Увеличение количества белка сопровождалось повышением сохранности свободного крахмала, что указывает на ингибирующее влияние белкового компонента на доступность крахмала для переваривания (рис. 1).

Особый интерес представляет сочетанное воздействие слюны и белков (4–6-я группы). При добавлении казеина и слюны содержание свободного крахмала при соотношении 5:1 составляло 43±3,1% для картофельного, 48±3,4% для кукурузного и 37±2,5% для пшеничного крахмала. Эти значения были достоверно ниже показателей 3-й группы ($p<0,01–0,001$), что свидетельствует о частичном преодолении слюной ингибирующего влияния белка. Аналогичная закономерность сохранялась при соотношениях 1:1 и 1:5 (соответственно 56%, 62%, 52% и 67%, 70%, 65%), хотя с увеличением количества казеина содержание свободного крахмала возрастало. При использовании сывороточного альбумина отмечалась сходная, но несколько более выраженная зависимость от соотношения компонентов. При соотношении 5:1 свободный крахмал составлял 35±2,2%, 37±2,5% и 30±1,7% соответственно для картофельного, кукурузного и пшеничного крахмала, при 1:1 – 50±3,7%, 57±4,5%

и 47±3,4%, при 1:5 – 63±5,1%, 65±5,2% и 60±4,7%. В большинстве случаев различия с 3-й группой были статистически значимыми (p<0,01–0,001). При добавлении яичного белка и слюны содержание свободного крахмала при соотношении 5:1 составляло 40±2,8% для картофельного, 44±3,2% для кукурузного и 35±2,2% для пшеничного крахмала. При соотношении 1:1 значения повышались соответственно до 54±4,1%, 63±5,1% и 50±3,8%, а при 1:5 – до 66±5,4%, 68±5,5% и 64±5,1%. Различия с 3-й группой в большинстве случаев были достоверными (рис. 1).

При сравнении видов крахмала во всех вариантах опыта наиболее низкие значения свободного крахмала после действия слюны отмечались у пшеничного крахмала, несколько более высокие – у картофельного, тогда как кукурузный крахмал в большинстве вариантов характеризовался наибольшим остаточным содержанием свободного крахмала. Это позволяет предположить различия в доступности крахмальных гранул для α-амилазы, обусловленные особенностями их структурной организации. Наиболее выраженное действие слюны наблюдалось при соотношении крахмал:белок 5:1, когда содержание свободного крахмала после взаимодействия с белком и слюной было минимальным. По мере увеличения количества белка до 1:1 и особенно до 1:5 содержание свободного крахмала последовательно возрастало. Следовательно, увеличение белковой составляющей усиливает защиту крахмала от ферментативного гидролиза, несмотря на сохраняющееся действие слюнной α-амилазы.

В целом слюна существенно повышает перевариваемость крахмала в белково-крахмальных системах, снижая количество свободного крахмала по сравнению с системами без слюны. Вместе с тем белки оказывают выраженное препятствующее действие, степень которого зависит от их концентрации. Наиболее благоприятные условия для гидролиза крахмала формируются при преобладании крахмала над белком (5:1), тогда как увеличение содержания белка до 1:5 сопровождается существенным сохранением свободного крахмала. Соотношение крахмал:белок является важным фактором, определяющим доступность крахмала для слюнной α-амилазы на оральной и начальной желудочной стадиях пищеварения (рис. 1).

Взаимодействие крахмала с белками существенно изменяет его доступность для ферментативного гидролиза слюнной α-амилазой, причём характер изменений определяется не только видом крахмала и белка, но и их количественным соотношением. Наиболее выраженное снижение содержания свободного крахмала наблюдалось при непосредственном воздействии слюны, тогда как включение белкового компонента ограничивало степень его гидролиза. После 30-минутного воздействия слюны содержание свободного крахмала снижалось со 100% до 29% для картофельного, 35% для кукурузного и 25% для пшеничного крахмала (p<0,001), что указывает на выраженную гидролитическую активность слюнной α-амилазы в отношении всех исследованных видов крахмала. Наиболее интенсивное снижение отмечено у пшеничного крахмала, менее выраженное – у картофельного и кукурузного. Это может быть связано с различиями в структуре крахмальных гранул, соотношении амилозы и амилопектина, степени их набухания и доступности гликозидных связей для фермента.

При добавлении белков без слюны содержание свободного крахмала значительно увеличивалось по сравнению с воздействием одной слюны: при соотношении крахмал:белок 5:1 оно составляло 63–67%, при 1:1 – 76–82%, при 1:5 – 86–91%. Присутствие белкового компонента создаёт структурное и физико-химическое препятствие для доступности крахмала, и выраженность этого эффекта возрастает по мере увеличения доли белка. Вероятно, белковые молекулы взаимодействуют с крахмальными гранулами и продуктами их набухания, формируя более плотную матрицу, которая ограничивает проникновение фермента к субстрату.

Особенно важным является сопоставление 3-й и 4–6-й групп. Введение слюны в системы, содержащие белки, во всех исследованных вариантах приводило к уменьшению содержания свободного крахмала относительно соответствующих систем «крахмал + белок», в большинстве случаев достоверному. Слюнная α-амилаза сохраняет способность гидролизовать крахмал даже в присутствии значительного количества белка, однако степень гидролиза оказывается ниже, чем в системе, содержащей только крахмал и слюну. Следовательно, белок не блокирует полностью действие α-амилазы, а преимущественно снижает доступность крахмального субстрата для ферментативного воздействия. При соотношении крахмал:белок 5:1 защитное влияние белка выражено слабее: после воздействия слюны содержание свободного крахмала составляло 30–48%, тогда как при увеличении доли белка до 1:1 оно возрастало до 47–63%, а при соотношении 1:5 – до 60–70%. Выявлена чёткая зависимость: чем больше белкового компонента относительно крахмала, тем больше свободного крахмала сохраняется после действия слюны и тем ниже доступность крахмала для α-амилазы.

Эта закономерность имеет важное физиологическое значение. В реальной пищевой матрице крахмал редко находится в изолированном состоянии. Взаимодействуя с белками, он формирует сложные пищевые структуры, в которых белковая фаза может ограничивать набухание крахмальных гранул, препятствовать проникновению воды и ферментов и способствовать формированию более устойчивой матрицы. Результаты эксперимента подтверждают, что перевариваемость крахмала определяется не только его химическим составом, но и структурой пищевой системы, в которой он находится.

Влияние трёх белковых компонентов на доступность крахмала несколько различалось: при одинаковом соотношении компонентов показатели свободного крахмала изменялись в зависимости от вида белка. В большинстве вариантов наиболее низкие значения отмечались при добавлении сывороточного альбумина, при использовании казеина и яичного белка значения были несколько выше. Это может отражать различия в молекулярной структуре белков, их способности связывать воду, взаимодействовать с крахмальными полисахаридами и формировать пространственную матрицу. Особенно отчётливо влияние белковой матрицы проявлялось при соотношении 1:5, когда белок значительно преобладал над крахмалом: даже при наличии слюны сохранялось 60–70% свободного крахмала, что существенно выше, чем в системе «крахмал + слюна». Высокая концентрация белка способна значительно ограничивать гидролитическую доступность крахмала.

Вместе с тем действие слюны не прекращается полностью даже при преобладании белка. Во всех вариантах 4–6-й групп показатели были ниже соответствующих значений 3-й группы, причём в большинстве случаев различия были статистически достоверными. Это позволяет рассматривать слюнную α-амилазу как фактор, частично преодолевающий структурный барьер белково-крахмальной матрицы. Различия между видами крахмала сохранялись и при включении белков в модель: пшеничный крахмал в большинстве сочетаний характеризовался более низким содержанием свободной фракции после действия слюны, кукурузный чаще демонстрировал более высокие значения, картофельный занимал промежуточное положение. Такая последовательность может быть связана с различиями в организации крахмальных гранул и доступности полисахаридной матрицы для фермента.

Полученные данные позволяют предположить, что на оральной стадии пищеварения слюнная α-амилаза активно инициирует гидролиз крахмала, а присутствие белка формирует дополнительный барьер для ферментативной атаки. При переходе к начальной желудочной стадии и снижении pH действие слюнной α-амилазы постепенно ограничивается, поэтому степень предварительного расщепления крахмала в ротовой полости приобретает особое значение: чем доступнее крахмал для фермента на оральной стадии, тем большее его количество может быть гидролизовано до существенного снижения активности α-амилазы.

Результаты подтверждают, что белковый компонент снижает перевариваемость крахмала, а слюнная α-амилаза частично компенсирует это ингибирующее влияние. Выраженность эффекта определяется соотношением крахмала и белка: увеличение белковой составляющей от 5:1 до 1:5 сопровождается последовательным повышением количества сохраняющегося свободного крахмала. Структурно-матричные взаимодействия между крахмалом и белком являются одним из факторов, определяющих скорость и степень начального ферментативного гидролиза крахмала, что может иметь значение для последующего поступления глюкозообразующих продуктов в кишечник и формирования постпрандиального гликемического ответа.

**Выводы.** Слюнная α-амилаза оказывает выраженное гидролитическое действие на крахмал, что проявляется достоверным снижением содержания свободного крахмала во всех исследованных видах крахмала ($p<0,001$).

Присутствие белков снижает доступность крахмала для ферментативного гидролиза: при увеличении доли белка от соотношения крахмал:белок 5:1 до 1:5 содержание свободного крахмала последовательно возрастает, что указывает на усиление защитного и матричного влияния белкового компонента.

Слюнная α-амилаза частично преодолевает ингибирующее влияние белков: во всех белково-крахмальных системах добавление слюны снижало содержание свободного крахмала по сравнению с соответствующими системами без слюны, в большинстве случаев достоверно, что подтверждает сохранение ферментативной активности α-амилазы в присутствии белков.

Наиболее благоприятные условия для гидролиза крахмала формируются при соотношении крахмал:белок 5:1, тогда как преобладание белка (1:5) сопровождается наиболее высоким сохранением свободного крахмала и снижением его доступности для α-амилазы.

Вид крахмала и белка влияет на степень переваривания: в большинстве вариантов пшеничный крахмал после воздействия слюны характеризовался более низким содержанием

свободного крахмала, кукурузный – более высоким, что свидетельствует о различной ферментативной доступности их структур.

Переваривание крахмала в белково-крахмальных системах определяется взаимодействием двух противоположных факторов – гидролитического действия слюнной α-амилазы и защитно-матричного влияния белков; их соотношение может определять степень предварительного расщепления крахмала на оральной и начальной желудочной стадиях пищеварения.

**Литература:**


1. Bai Y. et all. A review of the design and architecture of starch-based dietary foods // Engineering. 2021;7(5):663–673.
2. Farooq M.A., Yu J. Starches in rice: effects of rice variety and processing/cooking methods on their glycemic index // Foods. 2025;14(12):2022.
3. Han J., Wu J., Liu X., Shi J., Xu J. Physiological effects of resistant starch and its applications in food: a review // Food Production, Processing and Nutrition. 2023;5(1):48.
4. Li W., Yu Y., Gong S., Zhang W., Gu X., Wu J., Wang Z. Effects of endogenous and exogenous corn protein and its hydrolysates on the structural change and starch digestibility of fried corn starch // International Journal of Food Science and Technology. 2021;56(6):2732–2741.
5. Liu F.Y., Yang Z., Guo X.N., Xing J.J., Zhu K.X. Influence of protein type, content and polymerization on in vitro starch digestibility of sorghum noodles // Food Research International. 2021;142:110199.
6. Liu Y., Ouyang J. Impact of proteins on the structure, physicochemical properties, and digestibility of starch in food: a review // Starch – Stärke. 2025;77(12):e70137.
7. López-Barón N., Gu Y., Vasanthan T., Hoover R. Plant proteins mitigate in vitro wheat starch digestibility // Food Hydrocolloids. 2017;69:19–27.
8. Luo J., Zhai Y., Wu J., Wang F., Liu Y., Li X. Mechanism governing the rice glutelin fibrils on inhibition of in vitro wheat starch digestion // Food Hydrocolloids. 2022;131:107815.
9. Olson D. et all. Sorghum starch and protein digestibility: mechanisms, modifications, and health implications // Foods. 2026;15(10):1681.
10. Sethi S., Choudhary P., Nath P., Chauhan O.P. Starch gelatinization and modification // Advances in food chemistry: food components, processing and preservation. Singapore: Springer Nature Singapore, 2022. P. 65–116.
11. Song J., et al. Research progress on the mechanism of starch digestion inhibition based on exogenous proteins // Food Science. 2025;46(18):374–383.
12. Wang H. et all. Controlling the digestibility and multi-level structure of waxy rice starch by complexation with Artemisia sphaerocephala Krasch gum // Food Hydrocolloids. 2023;145:109149.
13. Wu X., Wu X., Zhang J., Yan X., Zhang Q., Zhang B. Effects of adding proteins from different sources during heat-moisture treatment on corn starch structure, physicochemical and in vitro digestibility // International Journal of Biological Macromolecules. 2024;273:133079.
14. Zhang S., Zhu S., Zhong F., Huang D., Chen X., Li Y. Study on the mechanism of various exogenous proteins with different inhibitions on wheat starch digestion: from the distribution behaviors of protein in the starch matrix // International Journal of Biological Macromolecules. 2023;242:124909.
15. Zhang S., et al. Understanding the mechanisms of whey protein isolate mitigating the digestibility of corn starch by in vitro simulated digestion // Food Hydrocolloids. 2022;124:107211.


## *ВЛИЯНИЕ СЛЮННОЙ АМИЛАЗЫ НА ПЕРЕВАРИВАЕМОСТЬ КРАХМАЛА В БИНАРНЫХ КРАХМАЛО-БЕЛКОВЫХ СИСТЕМАХ ПРИ РАЗЛИЧНОМ СООТНОШЕНИИ КРАХМАЛА И БЕЛКОВ*


*Джалалова О.К., Алейник В.А., Бабич С.М., Хамракулов Ш.Х.*



***Резюме.*** *Цель исследования: изучить влияние слюнной амилазы на перевариваемость крахмала в бинарных крахмало-белковых системах при различном соотношении крахмала и белков. Материал и методы: in vitro исследованы желатинизированные водные суспензии картофельного, кукурузного и пшеничного крахмала без белка и с добавлением казеина, сывороточного альбумина или яичного белка в соотношениях крахмал:белок 5:1, 1:1 и 1:5. Образцы инкубировали 30 мин со свежей смешанной слюной человека, остаточный крахмал оценивали по йодной реакции. Результаты: после воздействия слюны содержание свободного крахмала снижалось со 100% до 29% для картофельного, 35% для кукурузного и 25% для пшеничного крахмала ($p<0,001$). В присутствии белков без слюны оно составляло 63–67% при соотношении 5:1, 76–82% при 1:1 и 86–91% при 1:5. Добавление слюны к белково-крахмальным системам снижало содержание свободного крахмала соответственно до 30–48%, 47–63% и 60–70%, в большинстве случаев достоверно; наименьшие значения отмечены при добавлении сывороточного альбумина и у пшеничного крахмала, наибольшие – у кукурузного крахмала. Заключение: перевариваемость крахмала в белково-крахмальных системах определяется соотношением гидролитического действия слюнной α-амилазы и защитно-матричного влияния белков; наиболее благоприятные условия для гидролиза формируются при соотношении 5:1, тогда как преобладание белка (1:5) ограничивает доступность крахмала для фермента на оральной и начальной желудочной стадиях пищеварения.*



***Ключевые слова:*** *слюнная амилаза, крахмало-белковые системы, перевариваемость, соотношение крахмала и белков.*