

УДК: 612.323: 612.822.2

ИЗМЕНЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ СВОБОДНОГО КРАХМАЛА В МОДЕЛИ РОТОВОЙ И НАЧАЛЬНОЙ ЖЕЛУДОЧНОЙ СТАДИЙ ПЕРЕВАРИВАНИЯ



Джалалова Озода Касимджановна¹, Алейник Владимир Алексеевич^{1,2}, Бабич Светлана Михайловна¹, Хамракулов Шарифжон Хашимович^{1,2}

1 - Андижанский государственный медицинский институт, Республика Узбекистан, г. Андижан;

2 - Андижанский филиал Института иммунологии и геномики человека Академии наук Республики Узбекистан, г. Андижан

ОҒИЗ ВА МЕЪДАДАГИ ҲАЗМ ЖАРАЁНИНИНГ БОШЛАНҒИЧ БОСҚИЧЛАРИ МОДЕЛЛАРИДА ЭРКИН КРАХМАЛ МИҚДОРЕНИНГ ЎЗГАРИШИ

Джалалова Озода Касимджановна¹, Алейник Владимир Алексеевич^{1,2}, Бабич Светлана Михайловна¹, Хамракулов Шарифжон Хашимович^{1,2}

1 - Андижон давлат тиббиёт институти, Ўзбекистон Республикаси, Андижон ш.;

2 - Ўзбекистон Республикаси Фанлар академияси Иммунология ва инсон геномикаси институтининг Андижон филиали, Андижон ш.

CHANGES IN FREE STARCH CONTENT IN A MODEL OF ORAL AND INITIAL GASTRIC DIGESTION

Jalalova Ozoda Kasimjanovna¹, Aleynik Vladimir Alekseevich^{1,2}, Babich Svetlana Mikhailovna¹, Khamrakulov Sharifjon Hashimovich^{1,2}

1 - Andijan State Medical Institute, Republic of Uzbekistan, Andijan;

2 - Andijan branch of the Institute of Human Immunology and Genomics of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan

e-mail: djalalova.ozoda@gmail.com

Резюме. Мазкур тадқиқотда ҳазм қилишнинг оғиз бўшлиғи ва бошланғич меъда босқичлари моделларида эркин крахмал миқдорининг ўзгариши *in vitro* шароитида ўрганилди. Тадқиқот натижаларига кўра, pH кўрсаткичининг 7 дан 4 гача пасайиши сўлак α -амилазаси фаоллигининг изчил камайиши билан кечиши аниқланди: pH 6 бўлганда фермент ўзининг яққол фаоллигини сақлаб қолади, pH 5 да у сезиларли даражада пасаяди, pH 4 да эса деярли тўлиқ тўхтайдди. Крахмал гидролизи меъда босқичининг илк даврида ҳам давом этиши тасдиқланди ва бу ҳолат оғиз бўшлиғидаги ҳазм жараёнидан меъдадаги ҳазм жараёнига ўтиш кескин эмас, балки босқичма-босқич амалга ошишини кўрсатади. Крахмал гидролизига энг кучли ингибирловчи (сусайтирувчи) таъсири казеин, ўртача таъсири тухум оқсили кўрсатди, зардоб альбумини эса α -амилаза фаоллигини деярли ўзгартирмади. pH кўрсаткичининг пасайиши билан оқсил компонентларининг таъсири сусаяди ва pH 4 да нордон (кислотали) муҳитнинг устунлик қилувчи таъсири ҳамда фермент инактивацияси натижасида улар орасидаги фарқлар деярли йўқолади. Шундай қилиб, меъда фазасида крахмал гидролизининг тўхташи белгилловчи асосий омил pH нинг пасайиши ҳисобланади, овқат луқмаси (болюс) оқсил таркибининг таъсири эса α -амилаза ўзининг функционал фаоллигини сақлаб қолган шароитлардагина энг кўп намоён бўлади.

Калим сўзлар: сўлак амилазаси, крахмал, оқсиллар, крахмал-оқсил тизимлари, турли pH шароитларида ҳазм бўлиши.

Abstract. This study examined changes in free starch content *in vitro* in a model of oral and initial gastric digestion. The study found that a decrease in pH from 7 to 4 was accompanied by a gradual decrease in salivary α -amylase activity: at pH 6, the enzyme retains significant activity, at pH 5, it significantly decreases, and at pH 4, it almost completely ceases. It was established that starch hydrolysis continues in the early gastric stage, confirming a gradual, rather than instantaneous, transition from oral to gastric digestion. Casein has the most pronounced inhibitory effect on starch hydrolysis, with egg white having an intermediate effect. Serum albumin has virtually no effect on α -amylase activity. As pH decreases, the influence of protein components weakens, and at pH 4, the differences between them virtually disappear due to the predominant effect of the acidic environment and enzyme inactivation. Thus, the primary factor determining the cessation of starch hydrolysis in the gastric phase is a decrease in pH, while the effect of the protein composition of the food bolus is most pronounced under conditions where α -amylase maintains functional activity.

Keywords: salivary amylase, starch, proteins, starch-protein systems, digestion at different pH levels.

В работе изучалось *in vitro* изменение содержания свободного крахмала в модели ротовой и начальной желудочной стадий переваривания. В результате исследования установлено, что снижение pH от 7 до 4 сопровождается последовательным снижением активности слюнной α -амилазы: при pH 6 фермент сохраняет выраженную активность, при pH 5 она существенно снижается, а при pH 4 практически полностью прекращается. Установлено, что гидролиз крахмала продолжается на ранней желудочной стадии, что подтверждает постепенный, а не мгновенный переход от ротового к желудочному пищеварению. Наиболее выраженное ингибирующее влияние на гидролиз крахмала оказывает казеин, промежуточное - яичный белок, тогда как сывороточный альбумин практически не изменяет активность α -амилазы. По мере снижения pH влияние белковых компонентов ослабевает, и при pH 4 различия между ними практически исчезают вследствие преобладающего воздействия кислой среды и инактивации фермента. Таким образом, основным фактором, определяющим прекращение гидролиза крахмала в желудочной фазе, является снижение pH, тогда как влияние белкового состава пищевого комка наиболее выражено в условиях, при которых α -амилаза сохраняет функциональную активность.

Совместимость компонентов является одним из ключевых факторов, определяющих стабильность, пищевую ценность, текстуру, органолептические характеристики и срок хранения пищевых продуктов. Особое значение в этом отношении имеют природные полимеры, прежде всего белки и полисахариды, которые благодаря биоразлагаемости, биосовместимости и широкому спектру функциональных свойств широко используются при создании структурированных пищевых систем [1, 5]. Взаимодействие белков и полисахаридов представляет собой сложный процесс, зависящий от химической природы компонентов, их концентрации, молекулярной массы, заряда и степени гидратации, а также от внешних условий, включая pH, температуру и ионную силу среды. Между макромолекулами могут возникать электростатические, водородные и гидрофобные взаимодействия, совокупность которых определяет пространственное распределение компонентов и формирование микроструктуры пищевой матрицы [3]. При оптимальном соотношении сил притяжения и отталкивания происходит упорядоченная ассоциация макромолекул и формирование устойчивой структуры. Наличие обратимых взаимодействий обеспечивает необходимую молекулярную подвижность и способность системы адаптироваться к изменению внешних условий [4]. Однако чрезмерное усиление межмолекулярных взаимодействий либо ограничение молеку-

лярной динамики может приводить к агрегации, синерезису, фазовому разделению и разрушению сформированной структуры, что отрицательно сказывается на стабильности и потребительских свойствах продукта [2]. Для оценки совместимости и характера взаимодействия компонентов применяют комплекс физико-химических методов исследования. К основным из них относятся фазовый анализ, определение мутности, микроскопия, термический анализ, реологические и спектроскопические методы [6]. Фазовый анализ позволяет установить условия сохранения однородности системы и определить вероятность фазового разделения. Микроскопические исследования дают возможность оценить пространственную организацию компонентов, тогда как реологические методы характеризуют вязкость, текучесть и вязкоупругие свойства материала. Термический и спектроскопический анализы позволяют дополнительно исследовать изменения структуры и особенности межмолекулярных взаимодействий. Комплексное применение указанных методов позволяет установить взаимосвязь между молекулярными взаимодействиями, микроструктурой и макроскопическими свойствами пищевых материалов. Полученные сведения имеют практическое значение для целенаправленного регулирования состава и структуры пищевых систем, повышения их устойчивости, улучшения текстурных и органолептических характеристик и увеличения срока хранения [7]. Несмотря на значительный прогресс в данной области, прогнозирование поведения многокомпонентных пищевых систем остается сложной задачей вследствие одновременного влияния состава, условий среды и технологических воздействий. Поэтому перспективными направлениями являются совершенствование методов комплексного анализа, применение математического моделирования и разработка подходов к прогнозированию структурных изменений. Это позволит более эффективно управлять взаимодействием природных полимеров и создавать пищевые продукты с заданными функциональными и потребительскими свойствами [6, 7].

Цель исследования: изучить изменение содержания свободного крахмала в модели ротовой и начальной желудочной стадий переваривания.

Материал и методы. В исследовании *in vitro* изучалось влияние слюнной α -амилазы на степень переваривания крахмала при различных pH 7-4 в модели ротовой и начальной желудочной стадий переваривания. Эксперимент проводился с использованием модельных пищевых систем, состоящих из различных видов крахмала и белковых компонентов. В качестве источников крахмала применяли 2%-ные водные суспензии картофельного, кукурузного и пшеничного крахмала.

Для формирования бинарных систем к каждому виду крахмала добавляли 1%-ные растворы белков: казеина, сывороточного альбумина и яичного белка. Таким образом были получены как контрольные образцы, содержащие только крахмал, так и экспериментальные крахмало-белковые композиции. Все исследуемые образцы предварительно подвергали полной желатинизации путем термической обработки, что обеспечивало разрушение нативной структуры крахмальных гранул и образование однородной гелеобразной системы. После охлаждения образцы инкубировали со свежей смешанной слюной человека в течение 30 минут при одинаковых экспериментальных условиях. Слюну получали методом свободного сплевывания от здоровых добровольцев непосредственно перед проведением эксперимента, что позволяло сохранить естественную ферментативную активность слюнной α -амилазы. Степень гидролиза крахмала оценивали по остаточному содержанию непереваренного крахмала с использованием качественной йодной реакции. После завершения инкубации в образцы добавляли йодный реактив, после чего оценивали интенсивность окрашивания, которая отражала количество сохранившегося крахмала. Ослабление интенсивности окраски свидетельствовало о более выраженном ферментативном расщеплении крахмала под действием слюнной α -амилазы.

Статистическую обработку результатов выполняли с использованием методов вариационной статистики. Для каждого показателя рассчитывали среднее арифметическое значение (M) и стандартную ошибку среднего (m). Достоверность различий между исследуемыми группами определяли с помощью критерия Стьюдента–Фишера (t).

Результаты и их обсуждение. Постепенное снижение pH среды от 7 до 4 моделировало продвижение пищевого комка из полости рта в желудок. Следует отметить, что начальная желудочная стадия не характеризуется мгновенной инактивацией слюнной α -амилазы. После проглатывания пищевого комка желудочный сок постепенно проникает в его толщу, вследствие чего некоторое время сохраняются микрозоны с pH, близким к нейтральному. Поэтому на ранних этапах желудочного пищеварения фермент продолжает гидролиз крахмала, а влияние предыдущей ротовой стадии сохраняется. Именно поэтому значения, полученные при pH 6 и частично при pH 5, отражают постепенный переход от условий полости рта к условиям желудка.

В ротовой стадии пищеварения при pH 7 наблюдалась максимальная активность слюнной α -амилазы. После воздействия слюны содержание свободного картофельного крахмала уменьшалось со 100 до $35 \pm 2,3\%$, кукурузного - до $42 \pm 2,9\%$, пшеничного - до $30 \pm 1,7\%$ ($p < 0,001$), что свиде-

тельствует об интенсивном ферментативном гидролизе. Наибольшее ингибирующее влияние на гидролиз оказывал казеин. В его присутствии содержание свободного крахмала возрастало до $55 \pm 4,1\%$ для картофельного, $62 \pm 4,8\%$ для кукурузного и $50 \pm 3,9\%$ для пшеничного крахмала, что на 20, 2 и 20 процентных пунктов превышало показатели группы «крахмал + слюна». Это свидетельствует о существенном ограничении действия α -амилазы. Напротив, сывороточный альбумин практически не изменял эффективность гидролиза. Количество свободного крахмала составляло $31 \pm 1,8$; $40 \pm 2,6$ и $28 \pm 1,5\%$, практически совпадая с действием одной слюны (35; 42 и 30% соответственно). Яичный белок занимал промежуточное положение. Его присутствие увеличивало содержание свободного картофельного крахмала до $44 \pm 3,3\%$, кукурузного — до $53 \pm 3,9\%$, пшеничного — до $42 \pm 3,2\%$, что было на 9–12 процентных пунктов выше действия одной слюны, однако значительно ниже эффекта казеина. Таким образом, в условиях ротовой стадии различия между белками были наиболее выраженными, а степень их влияния можно расположить в следующем порядке: казеин > яичный белок > сывороточный альбумин.

В ранней начальной желудочной стадии при снижении pH до 6 гидролиз крахмала продолжался достаточно активно, что свидетельствует о сохранении действия слюнной α -амилазы после поступления пищевого комка в желудок. После воздействия слюны содержание свободного картофельного крахмала составляло $40 \pm 2,6\%$, кукурузного - $48 \pm 3,4\%$, пшеничного - $35 \pm 2,4\%$. По сравнению с pH 7 эти показатели увеличились лишь на 5–6 процентных пунктов, что свидетельствует о постепенном, а не резком снижении активности фермента. Сохранялся и характер влияния белков. В присутствии казеина количество свободного крахмала увеличивалось до $63 \pm 4,9$; $71 \pm 5,6$ и $58 \pm 4,7\%$, что соответственно на 23, 23 и 23 процентных пункта превышало показатели группы со слюной. При добавлении сывороточного альбумина показатели составляли $36 \pm 2,1$; $46 \pm 3,2$ и $32 \pm 1,8\%$, практически не отличаясь от действия одной слюны.

Яичный белок обеспечивал промежуточные значения - $51 \pm 3,7$; $61 \pm 4,8$ и $48 \pm 3,5\%$, увеличивая содержание свободного крахмала по сравнению со слюной на 11–13 процентных пунктов. Следовательно, несмотря на начавшееся подкисление среды, на стадии pH 6 еще сохраняется выраженное влияние условий ротовой стадии. Практически идентичное распределение показателей относительно pH 7 свидетельствует о том, что желудочный сок еще не полностью инактивировал α -амилазу, а процесс гидролиза продолжается.

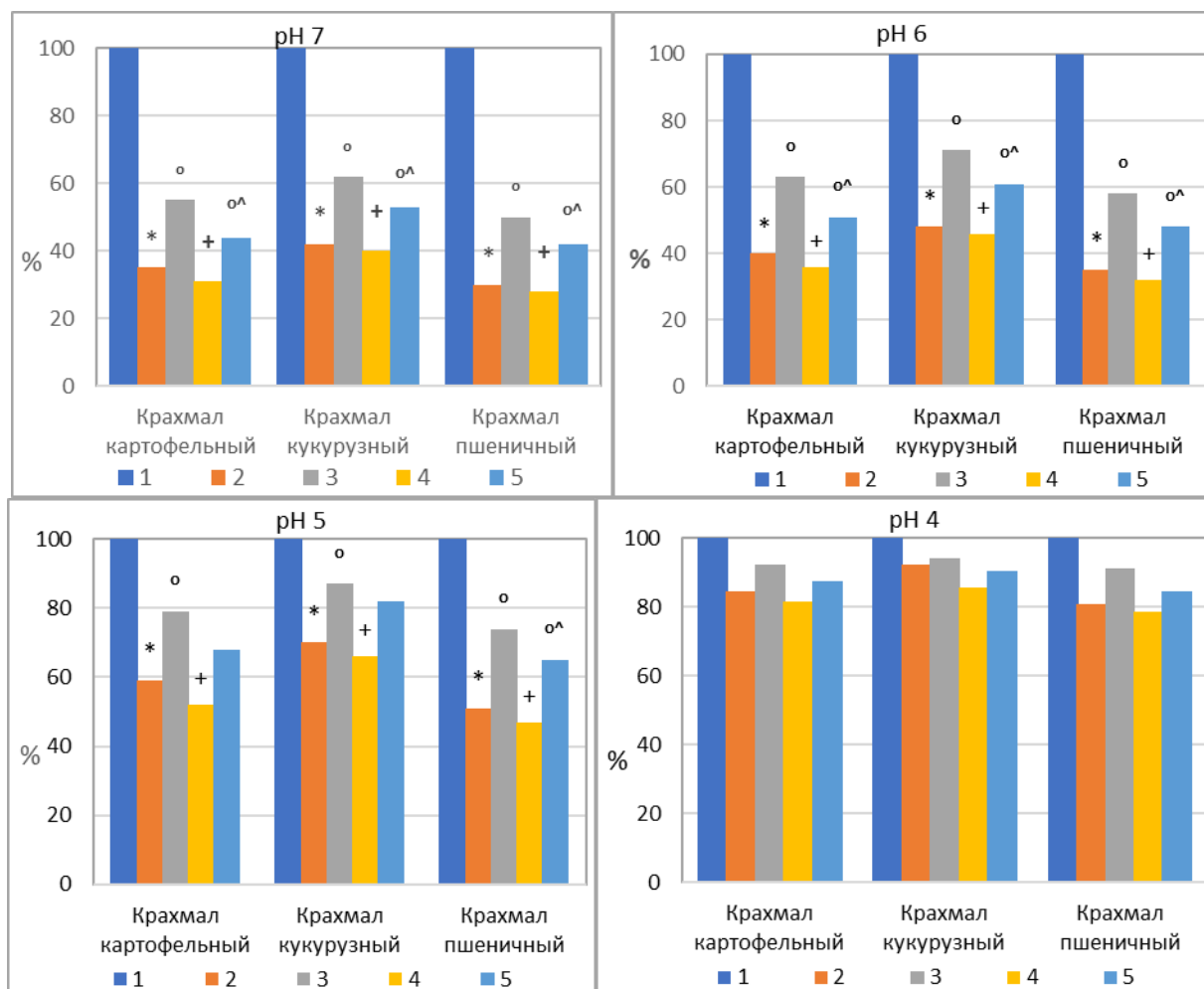


Рис. 1. Изменение показателей свободного крахмала в % под влиянием слюны в присутствии различных белков при pH 7-4.

Примечание: 1-крахмал, 2- крахмал +слюна; 3- крахмал +казеин+ слюна; 4- крахмал +сывороточный альбумин+ слюна; 5- крахмал +яичный белок+ слюна.

*- достоверно отличающиеся величины к показателям крахмала.

^o - достоверно отличающиеся величины к показателям 2 группы.

⁺ - достоверно отличающиеся величины к показателям 3 группы.

[^] - достоверно отличающиеся величины к показателям 4 группы.

В переходной желудочной стадии при дальнейшем снижении pH до 5 влияние кислой среды становилось значительно более выраженным. После воздействия слюны содержание свободного картофельного крахмала увеличивалось до $59 \pm 3,5\%$, кукурузного - до $70 \pm 5,8\%$, пшеничного - до $51 \pm 3,7\%$. По сравнению с pH 6 количество свободного крахмала возрастало еще на 19, 22 и 16 процентных пунктов, что отражает заметное снижение активности α -амилазы. Несмотря на это, влияние белков еще сохранялось. В присутствии казеина содержание свободного крахмала достигало $79 \pm 6,7\%$; $87 \pm 7,4\%$ и $74 \pm 6,2\%$, то есть превышало показатели группы со слюной на 20, 17 и 23 процентных пункта соответственно. Однако для кукурузного крахмала различия уже не были статистически значимыми, что свидетельствует о постепенном уменьшении вклада белкового компонента в условиях кислой среды. Сывороточный альбумин вновь практически не изменял интен-

сивность гидролиза ($52 \pm 3,9\%$; $66 \pm 5,4\%$; $47 \pm 3,3\%$), а яичный белок занимал промежуточное положение ($68 \pm 5,6\%$; $82 \pm 6,7\%$; $65 \pm 5,1\%$). Таким образом, при pH 5 наблюдается переходный этап между ротовым и желудочным пищеварением. С одной стороны, продолжается действие α -амилазы, о чем свидетельствует сохранение различий между белковыми группами. С другой стороны, по сравнению с pH 6 содержание свободного крахмала увеличивается в среднем на 16–22%, отражая постепенное преобладание ингибирующего действия кислой среды над эффектами белков.

В начальной желудочной стадии при достижении pH 4 действие слюнной α -амилазы практически прекращалось. После воздействия слюны содержание свободного крахмала составляло $85 \pm 7,6\%$ для картофельного, $92 \pm 8,3\%$ для кукурузного и $81 \pm 7,2\%$ для пшеничного крахмала. По сравнению с pH 5 показатели дополнительно увеличивались на 26, 22 и 30 процентных

пунктов, что свидетельствует о почти полном прекращении гидролиза. Добавление различных белков уже практически не влияло на процесс. Так, в присутствии казеина содержание свободного крахмала составляло 92; 94 и 91%, при сывороточном альбумине — 82; 86 и 79%, при яичном белке — 87; 90 и 85%. Различия между группами отсутствовали, что свидетельствует о том, что определяющим фактором становится не белковый состав пищевого комка, а практически полная инактивация слюнной α -амилазы кислой средой желудка.

Полученные результаты демонстрируют не ступенчатый, а последовательный характер перехода от ротового к желудочному пищеварению. При pH 6 еще сохраняются основные закономерности, характерные для ротовой стадии: высокая активность α -амилазы и выраженные различия между белками. При pH 5 активность фермента постепенно снижается, что подтверждается увеличением содержания свободного крахмала на 16–22 процентных пункта по сравнению с pH 6, однако влияние казеина и яичного белка еще сохраняется. Лишь при pH 4 происходит практически полная утрата активности слюнной α -амилазы, содержание свободного крахмала достигает 81–92%, а влияние различных белков становится несущественным. Это подтверждает, что в начальной желудочной фазе некоторое время сохраняется действие фермента, сформировавшееся в условиях ротовой полости, после чего по мере проникновения желудочного сока происходит постепенный переход к условиям кислой среды и прекращение гидролиза крахмала.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что изменение условий среды при последовательном снижении pH от 7 до 4 сопровождается закономерным и постепенным изменением активности слюнной α -амилазы, а также характера взаимодействия фермента с различными белковыми компонентами пищевого комка. Выявленная динамика соответствует представлению о том, что переход от ротовой к желудочной фазе пищеварения не является одномоментным процессом. В первые минуты после поступления пищевого комка в желудок внутри его структуры могут сохраняться участки с относительно благоприятными для α -амилазы значениями pH, благодаря чему фермент продолжает проявлять гидролитическую активность до тех пор, пока не происходит достаточное подкисление всей массы пищевого комка.

При pH 7, соответствующем условиям ротовой стадии, наблюдалась наиболее высокая эффективность гидролиза всех исследованных видов крахмала. Снижение содержания свободного крахмала до 30–42% после воздействия слюны указывает на выраженную активность α -амилазы. При этом различия между картофельным, куку-

рузным и пшеничным крахмалом могут быть связаны с особенностями их структурной организации, доступностью гликозидных связей для фермента, размером и состоянием крахмальных гранул, а также соотношением амилозы и амилопектина. Наиболее интенсивный гидролиз наблюдался для пшеничного крахмала, тогда как кукурузный крахмал характеризовался несколько большей устойчивостью к действию фермента.

Особый интерес представляет различное влияние исследованных белков

на активность α -амилазы. Наиболее выраженный ингибирующий эффект обнаружен для казеина. Его присутствие сопровождалось увеличением содержания свободного крахмала на 20 процентных пунктов для картофельного и пшеничного и на 20 процентных пунктов для кукурузного крахмала по сравнению с воздействием одной слюны. Это указывает на существенное ограничение гидролиза в присутствии казеина. Возможными причинами такого эффекта могут быть связывание фермента с белковыми компонентами, изменение доступности субстрата, формирование белково-углеводных комплексов или изменение физико-химических свойств пищевой системы. При этом полученные данные позволяют говорить прежде всего о выраженном ассоциированном с казеином снижении доступности крахмала для α -амилазы, не ограничивая механизм только прямым ингибированием фермента.

Сывороточный альбумин, напротив, практически не изменял степень гидролиза. Содержание свободного крахмала при его добавлении оставалось близким к показателям группы со слюной. Это свидетельствует о том, что присутствие данного белка в исследованных условиях не оказывало существенного влияния на эффективность действия α -амилазы. Яичный белок занимал промежуточное положение: увеличение количества свободного крахмала на 9–12 процентных пунктов относительно группы со слюной свидетельствует о некотором ограничении гидролиза, однако этот эффект был значительно слабее, чем в присутствии казеина. Таким образом, в нейтральной среде формируется отчетливая последовательность влияния белков: казеин > яичный белок > сывороточный альбумин.

Снижение pH до 6 не сопровождалось резким прекращением гидролиза. Напротив, содержание свободного крахмала после действия одной слюны увеличивалось относительно pH 7 только на 5–6 процентных пунктов. Это является одним из наиболее значимых результатов исследования, поскольку показывает сохранение функциональной активности α -амилазы на ранней стадии подкисления. Полученные данные согласуются с концепцией постепенного изменения pH внутри пищевого комка: хотя желудочный сок уже начи-

нает поступать в его структуру, нейтральные или слабокислые микрзоны могут сохраняться определенное время. Следовательно, гидролиз крахмала может продолжаться даже после перехода пищевого комка из ротовой полости в желудок.

При pH 6 сохранялась и зависимость от белкового состава пищевой системы. Казеин вновь демонстрировал наиболее выраженный эффект, увеличивая содержание свободного крахмала на 23 процентных пункта для всех трех видов крахмала. Яичный белок также сохранял способность ограничивать гидролиз, тогда как сывороточный альбумин практически не изменял показатели. Таким образом, при данном значении pH характер взаимодействия белков с системой в целом сохранялся аналогичным ротовой стадии. Это позволяет предположить, что на раннем этапе желудочного пищеварения вклад предшествующей ротовой фазы остается значительным, а изменение pH еще недостаточно для полной инактивации α -амилазы.

Более выраженные изменения наблюдались при pH 5. В этих условиях содержание свободного крахмала после воздействия одной слюны возрастало до 51–70%, то есть гидролиз существенно ослабевал по сравнению с pH 6. Увеличение данного показателя на 16–22 процентных пункта свидетельствует о выраженном снижении активности α -амилазы вследствие дальнейшего подкисления среды. Вместе с тем ферментативный гидролиз полностью не прекращался, что подтверждается сохранением различий между группами.

При pH 5 особенно отчетливо проявляется переходный характер процесса. С одной стороны, кислый фактор уже оказывает существенное влияние на активность α -амилазы. С другой стороны, казеин и яичный белок продолжают изменять содержание свободного крахмала, хотя выраженность этих различий становится меньше. Для кукурузного крахмала различия между казеином и группой со слюной уже не достигали статистической значимости, что может свидетельствовать о снижении относительного вклада белкового компонента на фоне усиливающегося действия кислой среды. Таким образом, по мере снижения pH происходит постепенное изменение соотношения факторов, определяющих степень гидролиза: влияние белкового состава уменьшается, тогда как влияние кислотности становится доминирующим.

При pH 4 наблюдалось практически полное прекращение гидролиза крахмала слюнной α -амилазой. Содержание свободного крахмала достигало 81–92%, что значительно выше соответствующих значений при pH 5. Такое увеличение на 22–30 процентных пунктов указывает на резкое снижение остаточной активности фермента при дальнейшем подкислении среды. При этом

различия между белковыми группами практически исчезали. Следовательно, на данной стадии определяющим фактором становится уже не состав пищевого комка, а выражено неблагоприятные для слюнной α -амилазы условия среды.

Особенно важно, что при pH 4 влияние казеина, которое было наиболее выраженным при pH 7–6, практически нивелируется. Это позволяет предположить, что эффект белковых компонентов проявляется преимущественно тогда, когда фермент сохраняет достаточную функциональную активность. Когда же активность α -амилазы резко подавляется кислой средой, дополнительные изменения, связанные с присутствием белков, уже не оказывают существенного влияния на конечную степень гидролиза. Иными словами, кислотность постепенно становится доминирующим фактором, маскирующим или нивелирующим влияние состава пищевого субстрата.

В совокупности полученные данные позволяют выделить три функционально различающиеся зоны перехода. При pH 7–6 преобладают условия, близкие к ротовой фазе: α -амилаза сохраняет высокую активность, а белковые компоненты существенно различаются по характеру влияния на гидролиз. При pH 5 формируется переходная зона, в которой одновременно проявляются остаточная активность фермента и усиливающееся действие кислой среды. При pH 4 происходит фактическое завершение ротовой фазы переваривания крахмала вследствие практически полной инактивации слюнной α -амилазы.

Следует также отметить, что полученные результаты имеют важное физиологическое значение. Они показывают, что скорость инактивации слюнной α -амилазы в желудке может зависеть не только от конечного значения pH, но и от скорости проникновения кислого желудочного содержимого в пищевой комок. Поэтому пищеварение крахмала не прекращается непосредственно в момент проглатывания пищи, а продолжается в течение определенного переходного периода. Продолжительность этого периода потенциально может зависеть от структуры пищевого комка, его буферной емкости, состава и соотношения макро- и нутриентов.

Таким образом, результаты подтверждают последовательный характер перехода от ротового к желудочному пищеварению. Снижение pH сопровождается постепенным уменьшением активности слюнной α -амилазы и последовательным ослаблением влияния белковых компонентов на гидролиз крахмала. Казеин оказывает наиболее выраженное влияние на процесс при pH 7–6, яичный белок характеризуется умеренным эффектом, тогда как сывороточный альбумин практически не изменяет степень гидролиза. При pH 5 влияние белков становится менее выраженным на фоне

усиления кислотного фактора, а при pH 4 практически полностью исчезает. Это позволяет заключить, что в начальной желудочной фазе некоторое время сохраняется функциональная преэмптентность ротового пищеварения, однако по мере подкисления среды ведущим фактором становится инактивация слюнной α -амилазы, вследствие чего гидролиз крахмала практически прекращается.

Выводы: Снижение pH от 7 до 4 сопровождается последовательным снижением активности слюнной α -амилазы: при pH 6 фермент сохраняет выраженную активность, при pH 5 она существенно снижается, а при pH 4 практически полностью прекращается. Установлено, что гидролиз крахмала продолжается на ранней желудочной стадии, что подтверждает постепенный, а не мгновенный переход от ротового к желудочному пищеварению. Наиболее выраженное ингибирующее влияние на гидролиз крахмала оказывает казеин, промежуточное - яичный белок, тогда как сывороточный альбумин практически не изменяет активность α -амилазы. По мере снижения pH влияние белковых компонентов ослабевает, и при pH 4 различия между ними практически исчезают вследствие преобладающего воздействия кислой среды и инактивации фермента. Таким образом, основным фактором, определяющим прекращение гидролиза крахмала в желудочной фазе, является снижение pH, тогда как влияние белкового состава пищевого комка наиболее выражено в условиях, при которых α -амилаза сохраняет функциональную активность.

Литература:

1. Benalaya, I., Alves, G., Lopes, J., & Silva, L. R. A review of natural polysaccharides: sources, characteristics, properties, food, and pharmaceutical applications //International Journal of Molecular Sciences. – 2024. – Т. 25. – №. 2. – С. 1322.
2. Dignon G. L., Best R. B., Mittal J. Biomolecular phase separation: from molecular driving forces to macroscopic properties //Annual review of physical chemistry. – 2020. – Т. 71. – №. 1. – С. 53-75.
3. Hu, B., Zhang, C., Zhu, J., Yang, J., Zheng, Q., Zhang, X., ... & Han, L. Liquid-liquid biopolymers aqueous solution segregative phase separation in food: From fundamentals to applications—A review //International Journal of Biological Macromolecules. – 2024. – Т. 265. – С. 131044.
4. Li Z., Fan Q., Yin Y. Colloidal self-assembly approaches to smart nanostructured materials //Chemical reviews. – 2021. – Т. 122. – №. 5. – С. 4976-5067.
5. Pawde S., Dave J. Applications of soft matter physics in food science: from molecular interactions to macro-scale food structures //Sustainable Food Technology. – 2025. – Т. 3. – №. 4. – С. 979-1004.

6. Puşcaş A., Mureşan V., Muste S. Application of analytical methods for the comprehensive analysis of oleogels—A review //Polymers. – 2021. – Т. 13. – №. 12. – С. 1934.

7. Yiasmin, M. N., Al Azad, S., Easdani, M., Islam, M. S., Hussain, M., Cao, W., ... & Hua, X. The state-of-the-art on exploring polysaccharide-protein interactions and its mechanisms, stability, and their role in food systems //Food Reviews International. – 2026. – Т. 42. – №. 2. – С. 315-350.

ИЗМЕНЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ СВОБОДНОГО КРАХМАЛА В МОДЕЛИ РОТОВОЙ И НАЧАЛЬНОЙ ЖЕЛУДОЧНОЙ СТАДИЙ ПЕРЕВАРИВАНИЯ

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

Резюме. Нарушение эпигенетических механизмов может привести к тому, что гены начинают работать неправильно, что, в свою очередь, может стать причиной различных заболеваний. [6, 7]. Эпигенетические механизмы играют важнейшую роль в регуляции активности генов, позволяя клеткам адаптироваться к изменениям окружающей среды без изменения самой ДНК. Эти процессы включают модификации ДНК и гистонов, а также влияние некодирующих РНК, которые вместе контролируют, какие гены и в какой степени будут активны. Цель исследования: влияние лечения больных хронической HCV инфекцией и циррозом печени на изменение метилирования ДНК лейкоцитов. Материал и методы. В ходе исследования были изучены показатели 40 добровольцев без патологий и 65 пациентов с обнаруженными серологическими признаками инфицирования HCV. Среди больных, у 27 человек была выявлена комбинация серологических маркеров, характерных для перенесенной инфекции HBV, у 16 наблюдались серологические признаки, указывающие на хроническую HCV инфекцию, а у 22 пациентов были выявлены серологические маркеры хронической HBV инфекции и диагностирован цирроз печени, верифицированный с помощью эластографии 4F. Результаты. В результате проведенного исследования установлено, что у лиц с HCV в стадии пост-инфекции до начала терапии, активность ДНК-метилтрансферазы 1 в лимфатических лейкоцитах демонстрировала незначительное увеличение, в 1,3 раза превышающее показатели здоровых индивидуумов. При хронической HCV-инфекции уровень ДНК-метилтрансферазы 1 оказался значительно повышен, превышая значения в группе пост-инфекции в 1,6 раза и в 2,1 раза по сравнению со здоровыми. Выводы. Инфекция вирусом гепатита C (HCV) приводит к системным эпигенетическим нарушениям, что проявляется в повышенной активности фермента DNMT1 и общем уровне метилирования ДНК в периферических лейкоцитах. Эти изменения коррелируют со стадией заболевания, достигая пика при хронической форме, что отражает интенсивность иммунновоспалительного ответа.

Ключевые слова: гепатит, цирроз, метилирование, ДНК, фермент DNMT1.