



## Влияние амилазы слюны на изменение желудочного гидролиза белков

Мамажанова О.С., Алейник В.А., Худаярова А.Г., Бабич С.М.

Андижанский государственный медицинский институт, г. Андижан, Ю. Отабеков 1

**Для цитирования:** Мамажанова О.С., Алейник В.А., Худаярова А.Г., Бабич С.М. Влияние амилазы слюны на изменение желудочного гидролиза белков. Экспериментальная и клиническая гастроэнтерология. 2022;207(11): 171–176. DOI: 10.31146/1682-8658-ecg-207-11-171-176

✉ Для переписки:

**Мамажанова**

**Ойгул**

**Сирожитдиновна**

bobir.nsu@gmail.com

**Мамажанова Ойгул Сирожитдиновна**, Ассистент кафедры нормальной физиологии

**Алейник В.А.**, кафедра нормальной физиологии

**Худаярова А.Г.**, кафедра нормальной физиологии

**Бабич С.М.**, кафедра нормальной физиологии,

### Резюме

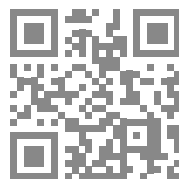
Изучали влияние амилазы слюны на изменение желудочного гидролиза белков. Исследование проводили *in vitro*, в работе использовали слюну, желудочный сок, растворы крахмала, казеина, альбумина и гемоглобина. Сделано заключение, что применение крахмально-белковых смесей способствует снижению гидролиза белка желудочным соком, за счет образования крахмально-белковых комплексов препятствующих гидролизу белков, и снижения доступа протеаз желудка к белкам в крахмально-белковом комплексе. Увеличение соотношения крахмала и белка в сторону увеличения крахмала, способствует дополнительному снижению гидролиза белка, что может являться дополнительным снижением доступа протеаз желудка к белкам, помимо препятствия к белкам в крахмально-белковом комплексе.

Кроме того амилаза слюны способствует улучшению перевариваемости белков желудочным соком как вследствие уменьшения крахмально-белковых комплексов, так и повышения доступа протеаз к белкам за счет снижения концентрации крахмала в результате переваривания его слюнной амилазой.

**Ключевые слова:** амилаза слюны; *in vitro*; желудочный сок; растворы крахмала, казеина, альбумина, гемоглобина; крахмально-белковый комплекс

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

EDN: MWTBVL



<https://doi.org/10.31146/1682-8658-ecg-207-11-171-176>

# Influence of salivary amylase on changes in gastric hydrolysis of proteins

O. S. Mamazhanova, V. A. Aleinik, A. G. Khudayarova, S. M. Babich

Andijan State Medical Institute, 1, Y. Otabekov, Andijan

**For citation:** Mamazhanova O. S., Aleinik V. A., Khudayarova A. G., Babich S. M. Influence of salivary amylase on changes in gastric hydrolysis of proteins. *Experimental and Clinical Gastroenterology*. 2022;207(11): 171–176. (In Russ.) DOI: 10.31146/1682-8658-ecg-207-11-171-176

✉ *Corresponding author:*

**Oygul S.**

**Mamazhonova**

bobir.nsu@gmail.com

**Oygul S. Mamazhonova**, Assistant of the Department of Normal Physiology

**V. A. Aleinik**, Department of Normal Physiology

**A. G. Khudayarova**, Department of Normal Physiology

**S. M. Babich**, Department of Normal Physiology

## Summary

The effect of salivary amylase on changes in gastric protein hydrolysis was studied. The study was carried out in vitro, saliva, gastric juice, solutions of starch, casein, albumin and hemoglobin were used in the work. It was concluded that the use of starch-protein mixtures helps to reduce protein hydrolysis by gastric juice, due to the formation of starch-protein complexes that prevent protein hydrolysis, and reduce the access of gastric proteases to proteins in the starch-protein complex. An increase in the ratio of starch and protein in the direction of increasing starch contributes to an additional decrease in protein hydrolysis, which may be an additional decrease in the access of gastric proteases to proteins, in addition to an obstacle to proteins in the starch-protein complex. In addition, salivary amylase helps to improve the digestibility of proteins by gastric juice, both due to a decrease in starch-protein complexes, and to increase the access of proteases to proteins by reducing the concentration of starch as a result of its digestion by salivary amylase.

**Keywords:** saliva amylase; in vitro; gastric juice; solutions of starch, casein, albumin, hemoglobin; starch-protein complex

**Conflict of interest.** Authors declare no conflict of interest.

Белки и полисахариды присутствуют во многих сложных многофазных пищевых системах. Они несут ключевую ответственность за контроль расщепления пищи и всасывания питательных веществ в желудочно-кишечном тракте. Кроме того, они играют роль в обеспечении ключевых органолептических характеристик (например, текстурных характеристик и контролируемого высвобождения вкуса) и фазовой стабильности пищевых продуктов. Их физико-химические свойства зависят от молекулярных параметров отдельных биополимеров и характера взаимодействия между полимерными молекулами [8].

Показано взаимодействие между белковой и крахмальной фракциями, что может изменять усвояемость белка. Также установлена зависимость степени взаимодействия между полисахаридом и белком от молекулярной массы полисахарида [1].

Изобилие крахмальных гранул может уменьшить протеолиз за счет ограничения доступности протеолитических ферментов, особенно при желатинизации во время приготовления пищи. Уникальность белкового матрикса и его взаимодействие с крахмалом влияет на скорость переваривания крахмала. В совокупности эти выводы свидетельствуют о том, что свойства крахмала и белка может повлиять на их взаимную усвояемость.

Большинство опубликованных работ посвящено усвояемости белка и его влияние на крахмал, но доказательств обратного скудны. Для решения этой проблемы важны соответствующие факты, как белок и крахмал влияют на распад друг друга [5].

Переваривание крахмала начинается в полости рта (когда слюна смешивается с частицами пищи) из-за действия человеческой слюнной  $\alpha$ -амилазы (HSA), которая расщепляет амилозу и амилопектин, расщепляя их  $\alpha$ -1–4 гликозидные связи [3]. Его роль часто считается малозначимой из-за короткой продолжительности устной фазы, но эту линию мысли можно поставить под сомнение после анализа некоторых библиографических данных. Действительно, хлебобулочные изделия обычно формируются в течение 16–50 секунд, в зависимости от типа хлеба и особенностей человека [10, 12].

Однако HSA может продолжать гидролизовать крахмал в желудке [3], до тех пор, пока pH не опустится ниже 4,0 и фермент не будет инактивирован [7]. Поскольку постпрандиальное подкисление желудка является постепенным процессом, для достижения этого уровня pH может потребоваться более 45 минут [11]. Данные исследований на людях, показывающие, что HSA может оставаться активным в желудке в течение длительного времени после короткой пероральной фазы обработки

и даже могут достигать тонкой кишки, не становясь неактивными, указывают на то, что этот фермент может быть ответственным за гидролиз важной фракции крахмала [7]. Кроме того, согласно интересной статье начала 20-го века, в которой также сообщается о результатах исследования на людях, до 76% крахмала в пюре и 59% в хлебе гидролизуются в мальтозу с помощью HSA в желудке [2]. Поскольку никакой другой амилазы нет, только фермент слюнного происхождения может быть ответственен за ферментативный гидролиз крахмала во время желудочного пищеварения [3]. Тем

не менее, эта работа, кажется, была забыта в научном сообществе, учитывая, что степень вклада HSA в переваривание крахмала остается неясной [4] и заключительная стадия пищеварения часто считается более важной. Последняя стадия переваривания крахмала происходит в тонкой кишке, где панкреатическая  $\alpha$ -амилаза завершает амилолиз, и конечный продукт этого процесса, глюкоза, наконец, всасывается в кровоток [9, 6].

**Цель исследования:** изучить влияние амилазы слюны на изменение желудочного гидролиза белков.

## Материал и методы

В работе *in vitro* изучалось влияние амилазы слюны на изменение общей протеолитической активности (ОПА) желудочного сока при использовании полисахаридно-белковых субстратов крахмала и белков казеина, яичного альбумина (альбумина) и гемоглобина. Исследовалась ОПА желудочного сока [1] с использованием в качестве субстрата казеина, альбумина и гемоглобина при 30 мин икубации с желудочным соком. Также субстратной смеси крахмала+казеина, крахмала+альбумина и крахмала+гемоглобина, при 30 мин икубации с желудочным соком, смеси крахмала+казеина, крахмала+альбумина и крахмала+гемоглобина,

при 60 мин икубации с желудочным соком, смеси крахмала+казеина, крахмала+альбумина и крахмала+гемоглобина, при 30 мин преинкубации со слюной и далее 60 мин икубации с желудочным соком.

Применялось различное соотношение крахмала и белка: 1 часть крахмала и 5 частей белка, 5 частей крахмала и 1 часть белка.

Статистическая обработка была проведена методом вариационной статистики с вычислением средних величин и их средних ошибок, определением коэффициента достоверности разности Стьюдента-Фишера (*t*). Статистически достоверными считали различия при  $p < 0,05$  и менее.

## Результаты

В результате проведенных исследований, было выявлено, что при использовании в качестве субстрата только казеина и после 30 мин воздействия на него желудочного сока ОПА составляла  $82 \pm 7,1$  ед/мл. При этом с применением субстрата из крахмала и казеина в соотношении 1:5 после 30 мин влияния желудочного сока этот показатель составлял  $51 \pm 4,5$  ед/мл, что было достоверно ниже аналогичного результата с использованием только казеина (Рис. А). В тоже время совместное использование в качестве субстрата крахмала и казеина в соотношении 5:1, после 30 мин воздействия желудочного сока вызывало изменение ОПА, которое было достоверно ниже подобного результата с применением только казеина и составляла  $29 \pm 2,7$  ед/мл. Данный результат находился достоверно ниже подобного значения с применением совместно крахмала и казеина в соотношении 1:5 (Рис. Б). Также было обнаружено, что с использованием субстрата из крахмала и казеина в соотношении 1:5 после 60 мин воздействия на него желудочного сока ОПА была равна  $73 \pm 6,4$  ед/мл, что было не достоверно ниже аналогичного показателя с использованием только казеина (Рис. А). При этом применение в качестве субстрата крахмала и казеина в соотношении 5:1 после 60 мин воздействия желудочного сока ОПА была равна  $44 \pm 4,8$  ед/мл, что также было достоверно ниже аналогичного результата использования крахмала и казеина в соотношении 1:5 (Рис. Б). По мимо этого было выявлено, что с применением субстрата из крахмала и казеина в соотношении 1:5 после предварительной 30 мин инкубации его со слюной

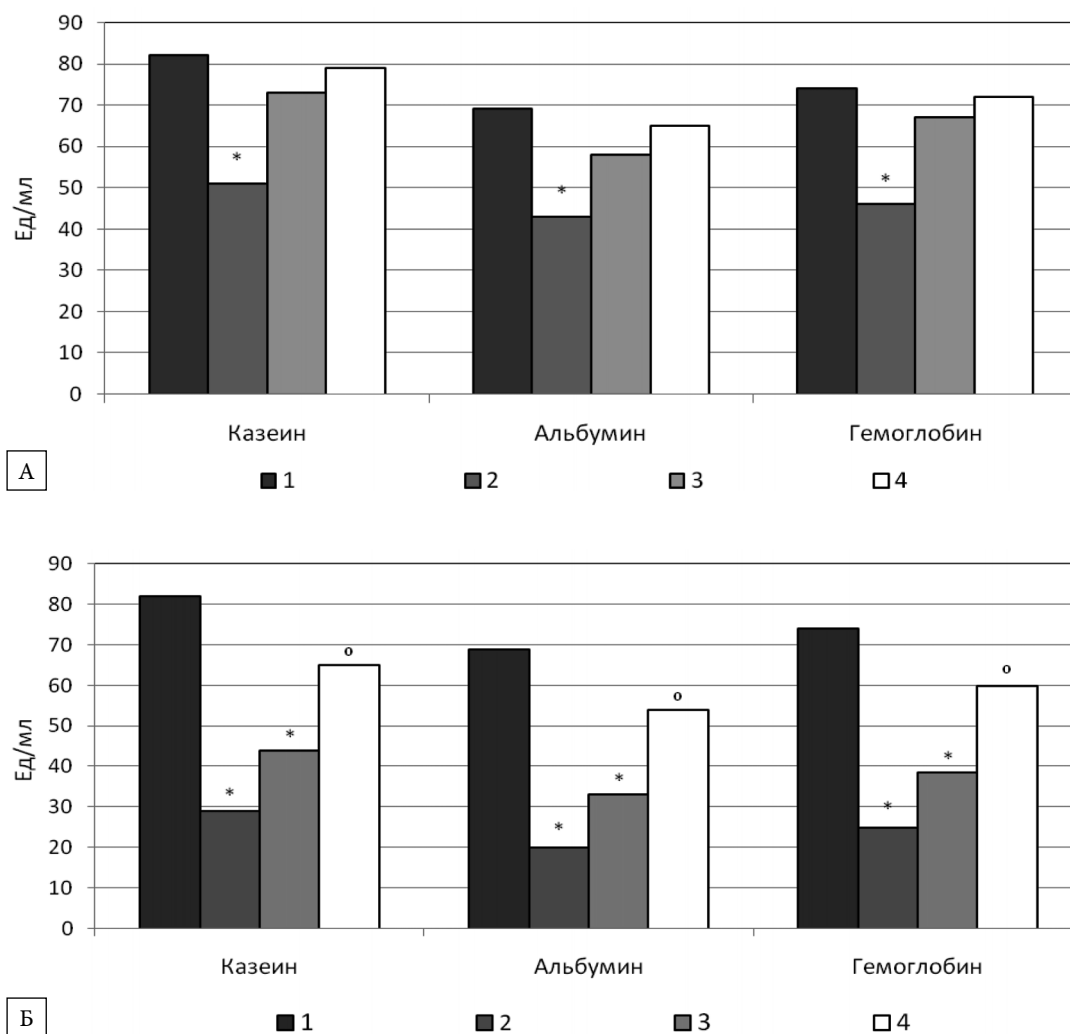
и дальнейшей 60 мин инкубацией с желудочным соком ОПА составлял  $79 \pm 8,3$  ед/мл, что находилось не достоверно выше аналогичного показателя с использованием крахмала и казеина в соотношении 1:5 после 60 мин воздействия желудочного сока (Рис. А). Тем не менее использование в качестве субстрата крахмала и казеина в соотношении 5:1 после предварительного 30 мин воздействия слюной и дальнейшего 60 мин влиянием желудочным соком ОПА составляла  $65 \pm 7,1$  ед/мл, что было достоверно выше подобного показателя с использованием крахмала и казеина в соотношении 5:1 после 60 мин воздействия желудочного сока (Рис. Б).

В проведенных исследованиях также было установлено, что при использовании в качестве субстрата только альбумина и после 30 мин влияния на него желудочного сока ОПА была равна  $69 \pm 6,3$  ед/мл. Этот же

показатель с использованием в качестве субстрата крахмала и альбумина в соотношении 1:5 после 30 мин влияния желудочного сока ОПА была достоверно меньше подобного результата с применением только альбумина и находился на уровне  $43 \pm 3,9$  ед/мл (Рис. А). Совместное же использование крахмала и альбумина в соотношении 5:1, после 30 мин воздействия желудочного сока вызывало изменение ОПА, которое было достоверно ниже подобного результата с применением только альбумина и составляло  $20 \pm 1,7$  ед/мл. Данный результат находился достоверно ниже аналогичного

результата с применением совместно крахмала и альбумина в соотношении 1:5 (Рис. Б).

**Рисунок.**  
Изменение ОПА  
желудочного сока  
под влиянием ами-  
лазы слюны при  
использовании  
в качестве субстра-  
та смеси крахмала  
с белками казеин,  
альбумин и ге-  
моглобин в соотно-  
шении крахмала  
и белка



**Примечание:**

А – 1:5, Б – 5:1. 1 – использование казеина, альбумина и гемоглобина при 30 мин икубации с желудочным соком. 2 – использование смеси: крахмала+казеина, крахмала+альбумина и крахмала+гемоглобина, при 30 мин икубации с желудочным соком. 3 – использование смеси: крахмала+казеина, крахмала+альбумина и крахмала+гемоглобина, при 60 мин икубации с желудочным соком. 4 – использование смеси: крахмала+казеина, крахмала+альбумина и крахмала+гемоглобина, при 30 мин преинкубации со слюной и далее 60 мин икубации с желудочным соком.

\* – достоверно отличающиеся величины по отношению к показателям использования казеина, альбумина и гемоглобина при 30 мин икубации.

О – достоверно отличающиеся величины по отношению к показателям использования смеси: крахмала+казеина, крахмала+альбумина и крахмала+гемоглобина, при 60 мин икубации.

Использование в качестве субстрата крахмала и альбумина в соотношении 1:5 после 60 мин воздействия желудочного сока ОПА составляла  $58 \pm 5,6$  ед/мл, этот результат находился не достоверно ниже подобного показателя с применением только альбумина (Рис. А). При этом в результате применения в качестве субстрата крахмала и казеина после 60 мин воздействия желудочного сока ОПА была равна  $44 \pm 4,8$  ед/мл, что было достоверно ниже аналогичного результата использования крахмала и казеина в соотношении 1:5 (Рис. Б). В тоже время использование в качестве субстрата крахмала и альбумина в соотношении 1:5 после предварительной 30 мин инкубации его со слюной и дальнейшей 60 мин инкубацией с желудочным соком ОПА была равна  $65 \pm 7,1$  ед/мл, что было не достоверно выше подобного показателя с использованием крахмала и казеина в соотношении 1:5

после 60 мин воздействия желудочного сока (Рис. А). При использовании же в качестве субстрата крахмала и казеина в соотношении 5:1 после предварительного 30 мин воздействия слюной и дальнейшего 60 мин влияния желудочным соком ОПА составляла  $65 \pm 7,1$  ед/мл, что также было достоверно выше подобного показателя с использованием крахмала и казеина в соотношении 1:5 после 60 мин воздействия желудочного сока (Рис. Б).

Аналогичная направленность полученных результатов исследования ОПА желудочного сока была выявлена при использовании в качестве субстрата крахмала и гемоглобина в соотношении 1:5. При этом ОПА с

применением в качестве субстрата только гемоглобина после 30 мин воздействия желудочного сока составляла  $74 \pm 6,8$  ед/мл. С применением в качестве субстрата совместно крахмала

и гемоглобина после 30 мин влияния желудочного сока этот же показатель был достоверно меньше такого же результата с применением только гемоглобина и был равен  $46 \pm 4,1$  ед/мл (Рис. А). Также выявлено, что при использовании смеси крахмала и гемоглобина в соотношении 5:1, после 30 мин воздействия желудочного сока ОПА была достоверно ниже такого же показателя только гемоглобина и составляла  $25 \pm 2,2$  ед/мл. Этот результат ОПА был достоверно меньше такого же показателя с использованием субстратной смеси крахмала и гемоглобина в соотношении 1:5 (Рис. Б). Использование крахмала и гемоглобина в соотношении 1:5 после 60 мин влияния желудочного сока ОПА соответствовала уровню  $67 \pm 6,3$  ед/мл, что было не достоверно меньше аналогичного результата с использованием только гемоглобина (Рис. А). При этом, с применением крахмала и гемоглобина в соотношении 5:1 после 60 мин воздействия желудочного сока ОПА была равна  $39 \pm 3,5$  ед/мл, что было достоверно

ниже подобного результата с применением только гемоглобина, и достоверно ниже такого же показателя использования крахмала и гемоглобина в соотношении 1:5 (Рис. Б). Тем не менее использование в качестве субстрата крахмала и гемоглобина в соотношении 1:5 после предварительного 30 мин воздействия слюной и дальнейшем 60 мин воздействия желудочным соком ОПА составляла  $72 \pm 7,6$  ед/мл, что также было не достоверно выше подобного показателя с использованием крахмала и казеина в соотношении 1:5 после 60 мин воздействия желудочного сока (Рис. А). В тоже время применение в качестве субстрата крахмала и гемоглобина в соотношении 5:1 после предварительного 30 мин воздействия слюной и дальнейшем 60 мин влиянием желудочным соком ОПА составляла  $60 \pm 5,8$  ед/мл, что также было достоверно выше подобного показателя с использованием крахмала и казеина в соотношении 5:1 после 60 мин воздействия желудочного сока (Рис. Б).

## Обсуждение результатов

Полученные результаты этих исследований показали, что ОПА зависит от взаимодействия крахмала с белками за счет образования крахмально-белковых комплексов. Подтверждением тому являются полученные нами данные, где было установлено, что при использовании в качестве субстрата крахмала совместно с казеином в соотношении 1:5 и 5:1, ОПА была достоверно ниже, чем при использовании в аналогичных условиях в качестве субстрата только казеина. Также ОПА зависит от концентрации крахмала в субстратной смеси. Подтверждением этого являются результаты, где было установлено, что при использовании в качестве субстрата крахмала совместно с казеином в соотношении 5:1, ОПА была достоверно ниже, чем при использовании в аналогичных условиях в качестве субстрата крахмала совместно с казеином в соотношении 1:5. Подобная направленность изменений ОПА, при таковых же условиях отмечалась и при использовании в качестве субстрата крахмала совместно с альбумином, а также крахмала совместно с гемоглобином. Кроме того полученные исследования показали, что слюнная амилаза способствует улучшению перевариваемости белков желудочным соком. Доказательством этого являются полученные результаты, в которых было установлено, что использование в качестве субстрата крахмала и казеина в соотношении 5:1, после предварительного 30 мин воздействия слюной и дальнейшем 60 мин влиянием желудочного сока, ОПА была достоверно выше подобного показателя с использованием крахмала и казеина после 60 мин воздействия желудочного сока. Аналогичная направленность изменений ОПА, при таковых же

условиях отмечалась и при использовании в качестве субстрата крахмала совместно с альбумином, а также крахмала совместно с гемоглобином.

Полученные результаты исследования показывают, что использование смеси крахмала с белками способствует снижению гидролиза белка желудочным соком. Это может быть связано с образованием крахмально-белковых комплексов препятствующих гидролизу белков, за счет снижения доступа протеаз желудка к белкам в крахмально-белковом комплексе. При увеличении соотношения крахмала и белка в сторону увеличения крахмала, способствует дополнительному снижению гидролиза белка, что может быть связано с тем, что увеличение количества крахмала может являться дополнительным снижением доступа протеаз желудка к белкам, помимо препятствия к белкам в крахмально-белковом комплексе. Кроме того результаты исследования показывают, амилаза слюны способствует улучшению перевариваемости белков желудочным соком как за счет уменьшения крахмально-белковых комплексов, так и повышения доступа протеаз к белкам в результате снижения концентрации крахмала за счет переваривания его амилазой.

Таким образом, гидролиз белка желудочным соком зависит от взаимодействия крахмала с белками в результате образования крахмально-белковых комплексов, а также от количества крахмала, увеличение концентрации которого способствует также препятствием для доступа протеаз желудка к белкам. Кроме того гидролиз белка в составе белково-полисахаридных смесях зависит от наличия слюнной амилазы.

## Выводы

Применение крахмально-белковых смесей способствует снижению гидролиза белка желудочным соком, за счет образования крахмально-белковых

комплексов препятствующих гидролизу белков, и снижения доступа протеаз желудка к белкам в крахмально-белковом комплексе. Увеличение

соотношения крахмала и белка в сторону увеличения крахмала, способствует дополнительному снижению гидролиза белка, что может являться дополнительным снижением доступа протеаз желудка к белкам, помимо препятствия к белкам в крахмально-белковом комплексе. Кроме того

амилаза слюны способствует улучшению перевариваемости белков желудочным соком как вследствие уменьшения крахмально-белковых комплексов, так и повышения доступа протеаз к белкам за счет снижения концентрации крахмала в результате переваривания его слюнной амилазой.

## Литература | References

1. Kurchenko V.P., Alieva L. R., Butkevich T. V., Gavrilenko N. V. [The mechanism of interaction of chitosan with whey proteins]. Proceedings of the Belarusian State University. Series: Physiological, biochemical and molecular bases of functioning of biosystems. 2013;8(1):45–51. (in Russ.)  
Курченко В. П., Алиева Л. Р., Буткевич Т. В., Гавриленко Н. В. Механизм взаимодействия хитозана с белками молочной сыворотки // Труды Белорусского государственного университета. Серия: Физиологические, биохимические и молекулярные основы функционирования биосистем. – 2013. – Т. 8. – № 1. – С. 45–51.
2. Bergeim O., Intestinal chemistry: iii. Salivary digestion in the human stomach and intestines. *Arch. Intern. Med.*, 1926;(37):110–117.
3. Bornhorst G. M., Singh R. P. Bolus formation and disintegration during digestion of food carbohydrates, *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.* 2012;(11):101–118.
4. Butterworth P. J., Warren F. J., Ellis P. R., Human  $\alpha$ -amylase and starch digestion: An interesting marriage, *Starch. Staerke*. 2011;(63):395–405.
5. Duodu K. G., Nunes A., Delgadillo I., et al. Effect of grain structure and cooking on sorghum and maize in vitro protein digestibility. *Journal of Cereal Science*. 2002;35(2):161–174.
6. Freitas D., Le Feunteun S., Panouillé M., Souchon I. The important role of salivary  $\alpha$ -amylase in the gastric digestion of wheat bread starch. *Food & function*. 2018;9(1):200–208.
7. Fried M., Abramson S., Meyer J. H. Passage of salivary amylase through the stomach in humans. *Dig. Dis. Sci.* 1987;(32):1097–1103.
8. Goh K. K., Teo A., Sarkar A., Singh H. Milk protein-polysaccharide interactions. *Milk proteins*. Academic Press. 2020, pp. 499–535.
9. Gropper, Sareen S., Jack L. Smith, James L. Groff. *Advanced nutrition and human metabolism*: Cengage Learning. 2012, pp. 425–546.
10. Jourden S., Panouillé M., Saint-Eve A., Déléris I., Forest D., Lejeune P., Souchon I. Breakdown pathways during oral processing of different breads: impact of crumb and crust structures. *Food Funct.* 2016;(7):1446–1457.
11. Malagelada J.-R., Go V. L. W., Summerskill W. H. J. Different gastric, pancreatic, and biliary responses to solid-liquid or homogenized meals. *Dig. Dis. Sci.* 1979;(24):101–110.
12. Panouillé M., Saint-Eve A., Déléris I., Le Bleis F., Souchon I. Oral processing and bolus properties drive the dynamics of salty and texture perceptions of bread. *Food Res. Int.* 2014;(62):238–246.