




Исследование влияния хмеля на безопасность полупродуктов пивоваренного производства

Инна В. Новикова	¹	noviv@list.ru	 0000-0002-2360-5892
Владислав Н. Калаев	²	dr_huixs@mail.ru	 0000-0002-4247-4509
Александр С. Муравьев	¹	hntrun@mail.ru	 0000-0002-4247-4509
Павел В. Рукавицын	¹	kaf-tbsp@vsuet.ru	
Оксана Ю. Мальцева	¹	ksenia2002@list.ru	
Иван Н. Криваносов	¹	kaf-tbsp@vsuet.ru	



¹ Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

² Воронежский государственный университет, Университетская площадь, 1 г. Воронеж, 394018, Россия

Аннотация. С целью обеспечения контроля качества и безопасности пищевой продукции впервые были проведены исследования влияния хмеля *in vivo* на частоту aberrаций клеток с помощью микроядерного теста в буккальном эпителии человека. Получены результаты исследования *in vivo* образцов суслу с целью выявления возможного отрицательного влияния хмеля, который вносит свой вклад в увеличение экстрактивных компонентов в готовом напитке при сухом охмелении и содержит большое количество биологически активных соединений (горькие и фенольные вещества, эфирные масла), на организм человека. Проведен анализ частот встречаемости аномалий ядра в клетках буккального эпителия у лиц, употребляющих охмеленные и неохлажденные образцы суслу, на частоту встречаемости клеточных нарушений в буккальном эпителии человека. Обнаружены следующие типы нарушений: клетки с микроядрами, двумя ядрами, насечками, перинуклеарными вакуолями, протрузиями типа «язык» и «разбитое яйцо», кариопикнозом, кариолизисом и кариорексисом. На основании полученных данных вычислены индексы репарации и накопления цитогенетических нарушений. Не выявлено влияние хмеля на индекс репарации и индекс накопления цитогенетических нарушений. Методами факторного анализа показано, что основной вклад в дисперсию системы признаков будет вносить фактор «специфичность изучаемых цитогенетических показателей».

Ключевые слова: микроядерный тест, сусло, хмель, цитогенетические нарушения, безопасность пищевой продукции.

Study of the influence of hops on the safety of brewing semi-products

Inna V. Novikova	¹	noviv@list.ru	 0000-0002-2360-5892
Vladislav N. Kalaev	²	dr_huixs@mail.ru	 0000-0002-4247-4509
Aleksandr S. Muravev	¹	hntrun@mail.ru	 0000-0002-4247-4509
Pavel V. Rukavitsyn	¹	kaf-tbsp@vsuet.ru	
Oksana Y. Maltseva	¹	ksenia2002@list.ru	
Ivan N. Krivanosov	¹	kaf-tbsp@vsuet.ru	

¹ Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

² Voronezh State University, University Square, 1, Voronezh, 394018, Russia

Abstract. In order to ensure quality control and food safety, the *in vivo* effect of hops on the frequency of cell aberrations was studied for the first time using a micronucleus test in human buccal epithelium. Results were obtained of *in vivo* studies of wort samples to identify possible negative effects of hops, which contribute to an increase in extractive components in the finished drink during dry hopping and contain a large number of biologically active compounds (bitter and phenolic substances, essential oils), on the human body. The frequency of nucleus abnormalities in human buccal epithelium cells of persons using hopped and unhopped must samples was analyzed for the frequency of cellular abnormalities in human buccal epithelium. The following types of disorders were found: cells with micronuclei, two nuclei, notches, perinuclear vacuoles, "tongue" and "broken egg" type protrusions, karyopyknosis, karyolysis and karyorexis. Based on the data obtained, indices of repair and accumulation of cytogenetic disorders were calculated. No effect of hops on the reparation index and the index of accumulation of cytogenetic disorders was revealed. Factor analysis methods show that the main contribution to the variance of the trait system will be made by the factor "specificity of the cytogenetic indices under study".

Keywords: micronucleus test, wort, hops, cytogenetic disorders, food safety.

Для цитирования

Новикова И.В., Калаев В.Н., Муравьев А.С., Рукавицын П.В., Мальцева О.Ю., Криваносов И.Н. Исследование влияния хмеля на безопасность полупродуктов пивоваренного производства // Вестник ВГУИТ. 2022. Т. 84. № 4. С. 149–156. doi:10.20914/2310-1202-2022-4-149-156

For citation

Novikova I.V., Kalaev V.N., Muravev A.S., Rukavitsyn P.V., Maltseva O.Y., Krivanosov I.N. Study of the influence of hops on the safety of brewing semi-products. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2022. vol. 84. no. 4. pp. 149–156. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2022-4-149-156

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

Использование хмеля для приготовления напитков на основе зернового сырья или мёда связано главным образом с тем, что он придает готовой продукции специфический горький вкус и аромат. Горький вкус связан с содержанием растворимых в пиве изо- α -кислот, которые образуются из нерастворимых α -кислот хмеля при кипячении сусла с хмелем. Источником аромата являются эфирные масла хмеля. Хмель участвует в коагуляции белков при кипячении сусла и обладает бактериостатическими свойствами [1–3].

Важным свойством хмеля является также то, что он способствует улучшению пенистых свойств напитков, а полифенолы хмеля предохраняют напиток от «старения вкуса», связанного с окислительными процессами [4].

С целью обеспечения контроля качества и безопасности пищевой продукции впервые были проведены исследования влияния хмеля *in vivo* на частоту aberrаций клеток с помощью микроядерного теста в буккальном эпителии человека [5].

Клетки буккального эпителия исследовали на появление нарушений: клетки с микроядрами, двумя ядрами, насечками, перинуклеарными вакуолями, протрузиями типа «язык» и «разбитое яйцо», кариопикнозом, кариолизисом и кариорексисом.

Причины образования данных нарушений различны. Микроядра представляют собой ацентрические хромосомные фрагменты и отдельные целые хромосомы, потерянные во время митоза. Протрузии, подобно микроядрам, могут быть образованы фрагментами хромосом или отставшими при нарушении веретена деления целыми хромосомами, ядерная оболочка вокруг которых соединена с оболочкой основного ядра. Данное нарушение относят к признакам ранней деструкции ядра. Ядра с круговой насечкой имеют центральную или частично смещенную к одному из полюсов борозду, как бы перетягивающую ядро [6].

Двуядерная клетка – клетка с двумя отдельно лежащими ядрами. Для деления двуядерных клеток характерны нарушения митоза. Данные нарушения являются показателем нарушения пролиферации. Перинуклеарная вакуоль является «впячиванием» кариолеммы (ядерной оболочки) и образованием округлой зоны обесцвеченной цитоплазмы и кариоплазмы в окрашенных клетках, появляется в результате образования вакуоли в перинуклеарном пространстве [6].

Апоптоз – это основной механизм элиминации клеток с генетическими повреждениями. На ранних стадиях апоптоз проявляется как кариопикноз и кариорексис. Кариопикноз – дегенеративное изменение ядра, сопровождающееся уменьшением его размера не менее чем в 2 раза, уплотнением, гомогенным и интенсивным окрашиванием. Кариорексис – дегенеративное изменение ядра в клетке, сопровождающееся распадом его на отдельные интенсивно окрашенные части с гомогенной структурой, которые после лизиса кариолеммы попадают в цитоплазму и подвергаются рассасыванию. Кариолизис – дегенеративное изменение ядра в клетке, сопровождающееся потерей способности к окрашиванию хроматина с последующим полным его исчезновением. В свою очередь, кариолизис и вакуолизация ядра являются индикаторами исключительно токсического воздействия на клетку [6].

Материалы и методы

Для оценки антимуtagenных (протекторных) свойств хмеля был использован микроядерный тест в буккальном эпителии человека. В качестве объектов исследования применяли образцы солодового сусла с различной степенью термической обработки в виде расфасованных в стерильную стеклянную тару напитков объемом 50 см³ для одноразового приема в течение 10 дней.

Материалом для решения поставленных задач послужили результаты обследования 30 человек (три группы). В исследовании приняли участие условно здоровые добровольцы с состоянием здоровья без выраженных патологий, нарушений метаболических процессов в организме. Возраст мужчин-волонтеров составлял 18–19 лет.

Исследование проводили в 3 этапа. На первом этапе (начало исследования) осуществлялось взятие проб и первичная оценка исследуемых показателей, на втором этапе (10 суток) исследование осуществляли после систематического приема образцов, в тех же условиях. На третьем этапе (17 суток) пробы отбирали после семидневного прекращения приема образцов сусла. Все волонтеры подписали информированное добровольное согласие на проведение диагностических манипуляций в виде взятия мазков из ротовой полости в условиях медицинского пункта ФГБОУ ВО «ВГУИТ», а также на систематический прием образцов.

Проводили анкетирование добровольцев, критериями включения клинически здоровых лиц являлись: возраст, пол.

Критериями исключения клинически здоровых лиц являлись: наличие острых или хронических заболеваний. Анкеты и информированное добровольное согласие приведены в первичных материалах исследований.

Обработка результатов была проведена в лаборатории «Молекулярной генетики и клеточной биологии» кафедры генетики, цитологии и биоинженерии ФГБОУ ВО «ВГУ».

Исследуемые образцы выдавали добровольцам из первой и второй групп ежедневно в течение 10 дней. Первая группа испытуемых получала образцы неохмеленного сусла, вторая группа – образцы охмеленного сусла. Третья группа – контрольная, образцы не употребляла.

Для приготовления образцов подготовили сусло на основе дробленого светлого ячменного солода и подготовленной воды (гидромодуль затора 1:3,2). Применяли базовый светлый солод Пэйл Эль, экстрактивность солода составляла 82%, цвет 4.5 EBC, содержание белка 9.8%.

При кипячении сусла вносили гранулированный хмель Hallertaur Magnum (содержание α -кислот 11%, β -кислот 5%, когумулону 21% от количества α -кислот, эфирных масел 1,6 мг/100г сухих веществ хмеля). Расход хмеля рассчитывали для получения значения 23 IBU.

Хмель задавали на 10 минуте кипячения в количестве 1,9 г/дм³ сусла. Сначала кипячение сусла проводили без внесения хмеля в течение 10 минут, отбирали не охмеленные образцы для тестирования первой группы испытуемых, задавали порцию хмеля, кипятили при температуре 100–105 °С в течение 70 минут, отбирали охмеленные образцы сусла для второй группы испытуемых.

Общая продолжительность кипячения сусла с хмелем составляла 90 мин, экстрактивность начального сусла – 11%; горечь – 23 IBU [7, 8].

Содержание сухих веществ в образцах определяли на приборе «Колос-1». pH определяли с помощью pH-метра Edge III 2002–02.

Относительные концентрации кислот хмеля и их производных (изо- α -кислоты, α -кислоты) в исходном хмеле определяли с помощью метода ВЭЖХ [9, 10]. Соединения выделяли из хмеля следующим образом: образец хмеля в количестве 1 г подкисляли ортофосфорной кислотой (100 см³) и экстрагировали изоктаном (10 см³) в течение 30 мин. Экстракт переносили в стеклянную пробирку и выпаривали. К остатку после выпаривания добавляли ацетонитрил (2 см³) и анализировали методом ВЭЖХ в трех повторностях. Для кислот хмеля и их производных были получены градуировочные графики на основе стандартов в диапазоне 1, 5, 10, 20, 40, 60 мг/дм³ [10, 11].

Для контроля содержания изо-альфа-кислот в сусле применяли Метод определения изогумулону в сусле, основанный на экстракции его из сусла изоктаном (2,2,4-триметилпентаном) и определении оптической плотности изоктанового экстракта на спектрофотометре при длине волны 275 нм [12].

Общее содержание полифенолов определяли спектрофотометрическим методом [13]. В колбе вместимостью 25 см³ к образцу сусла (10 см³) приливали смесь карбоксиметилцеллюлозы (1%) и этилендиамина тетрауксусной кислоты (ЭДТА, 0,2%) (8 см³), затем добавляли цитрат аммония железа (3,5%, 0,5 см³), раствор гидроксида аммония (33,3%, 0,5 см³). Смесь доводили до метки деминерализованной водой и оставляли при комнатной температуре в течение 10 мин. Поглощение раствора

измеряли при длине волны 600 нм, умножали на коэффициент (820) для получения общего содержания полифенолов в сусле (мг/дм³). Анализ проводили в трех повторностях для каждого образца.

В образцах охмеленного сусла контролировали содержание изо-альфа-горьких кислот и альфа-горьких кислот. 1 см³ сусла перемещали в центрифужную пробирку объемом 50 см³, затем проводили экстрагирование кислот хмеля 10 см³ метанола. Образцы центрифугировали при 5000 об/мин в течение 5 мин, затем фильтрат анализировали методом ВЭЖХ [11].

Образцы сусла охлаждали после кипячения, разливали в стерильную стеклянную тару объемом 50 см³, укупоривали, хранили в защищенном от воздействия света месте при температуре 4–6 °С в закрытом виде, выдавали испытуемым ежедневно в одно и то же время.

Физико-химические показатели образцов сусла, выдаваемых испытуемым, представлены в таблице 1.

Таблица 1.
Физико-химические показатели образцов сусла
Table 1.
Physico-chemical parameters of wort samples

Показатель	ед. изм.	Сусло без охмеления	Охмеленное сусло (Hallertaur Magnum)
экстрактивность начального сусла	% мас.	11,56	11,56
pH	ед. pH	5,4	5,2
величина горечи	IBU	–	23
изо- α -кислоты	мг/дм ³	–	25,2
α -кислоты	мг/дм ³	–	8,4
полифенолы (катехин, кверцетин)	мг/дм ³	52	232
эфирные масла хмеля (линалоол, гераниол, мирцен β -кариофиллен)	мкг/дм ³	–	90,2
диметилсульфид	мкг/дм ³	230	–

Сбор материала и изготовление препаратов буккального эпителия осуществляли по методике [5] без употребления препарата (1 проба); через 10 дней, в течение которой испытуемые употребляли образцы солодового сусла (2 проба); и спустя неделю после окончания употребления (3 проба). Третья группа испытуемых являлась контрольной, сусло не употребляла.

Результаты и обсуждение

На каждом препарате просматривали не менее 1000 клеток, среди которых определяли количество клеток с микроядрами, перинуклеарными вакуолями, насечками, протрузиями, двумя ядрами, кариопикнозом, кариолизисом, кариорексисом.

Двухфакторный дисперсионный анализ не показал влияние факторов охмеление и не охмеление сусла, а также фактора дня на индекс репарации и индекс накопления цитогенетических нарушений.

Индекс репарации показывает динамику канцерогенеза. Данное значение статистически достоверно не повышается в сравнении с контролем как в группе лиц, которые употребляли неохмеленный образец, так и в группе лиц, которые употребляли охмеленный образец.

Наблюдаемые нарушения морфологии ядер у здоровых лиц можно связать со старением и естественной гибелью эпителиальных клеток ротовой полости [6].

Спустя неделю после прекращения употребления экстракта статистически достоверных изменений индекса репарации в сравнении с контролем у лиц, которые употребляли неохмеленный образец, и у лиц, употреблявших охмеленный образец, не отмечается. Индекс накопления цитогенетических нарушений используется для оценки цитогенетического статуса индивида. Данное значение статистически достоверно не повышается в сравнении с контролем как в группе лиц, которые употребляли охмеленный образец, так и у лиц, употреблявших неохмеленный образец.

Через неделю после прекращения употребления экстракта не происходит достоверных изменений индекса накопления как у лиц, употреблявших неохмеленное сусло, так и у лиц, которые употребляли охмеленное сусло.

Стоит отметить высокую изменчивость данного показателя (на что указывает высокие значения коэффициента вариации $>> 25\%$) у обследованных лиц (таблица 2), что может свидетельствовать о значительной гетерогенности данного показателя и разных эффектах употребляемых напитков у людей, что требует дальнейшего изучения данного феномена и выяснения его генетической и физиологической основы.

Увеличение числа клеток с нарушениями не происходит: у испытуемых 3 группы, которые ничего не принимали.

У испытуемых 2 группы (принимали охмеленное сусло) наблюдается отчетливый положительный эффект от приема образцов на второй точке. Уровень клеток с цитогенетическими нарушениями (микроядрами и протрузиями) и показателями патологической пролиферации (насечками и двумя ядрами) снизился.

Хмель обладает протекторными свойствами для организма человека, способствуют

уменьшению образования клеток с генетическими нарушениями и избавлению организма от данных клеток.

Антимутагенные эффекты хмеля можно объяснить свойствами содержащихся в них изо-альфа горьких кислот и альфа-горьких кислот хмеля, полифенольных компонентов (в 4 раза больше, чем в не охмеленном), ароматических компонентов – эфирных масел хмеля, отсутствием диметилсульфида, удаляемого при кипячении [1].

У испытуемых 1 групп (принимали не охмеленное сусло) возможно появление отрицательного эффекта за счёт присутствия в сусле диметилсульфида – всегда присутствует в исходном солоде, а улетучивается как раз при кипячении сусла с хмелем (таблица 1).

Частоты встречаемости клеточных аномалий в клетках буккального эпителия у лиц, употреблявших охмеленное и неохмеленное сусло, а также в контрольной группе в течение двух недель исследования представлены в таблице 2, где RI – индекс репарации; Cv – коэффициент вариации; Iac – индекс накопления цитогенетических нарушений.

Для выявления схожести цитогенетических эффектов употребления образцов охмеленного и неохмеленного сусла нами был проведен кластерный анализ полученных результатов (рисунок 1, таблица 3).

Обозначения в таблице 3: K1 – контрольная группа (взятие пробы до употребления экстракта), K2 – контрольная группа (взятие пробы через неделю, в течение которой испытуемые употребляли экстракт), K3 – контрольная группа (взятие пробы спустя неделю после прекращения употребления экстракта), Bx1 – неохмеленная группа (взятие пробы до употребления неохмеленного сусла), Bx2 – неохмеленная группа (взятие пробы через неделю, в течение которой испытуемые употребляли неохмеленное сусло), Bx3 – неохмеленная группа (взятие пробы спустя неделю после прекращения употребления неохмеленного сусла), Oх1 – охмеленная группа (взятие пробы до употребления охмеленного сусла), Oх2 – охмеленная группа (взятие пробы через неделю, в течение которой испытуемые употребляли охмеленное сусло), Oх3 – охмеленная группа (взятие пробы спустя неделю после прекращения употребления охмеленного сусла).

Дендрограмма кластерных расстояний между сериями экспериментов, построенная на основании значений индекса репарации и индекса накопления цитогенетических нарушений (средние значения, медианы

и коэффициенты вариации) в клетках буккального эпителия обследованных лиц, употреблявших охмеленное и неохмеленное сусло, а также в контрольной группе, не показало четкого выделения кластеров, что подтверждает ранее

высказанную мысль о том, что образцы охмеленного и неохмеленного сусла не оказывают влияния на индекс репарации и индекс накопления цитогенетических нарушений.

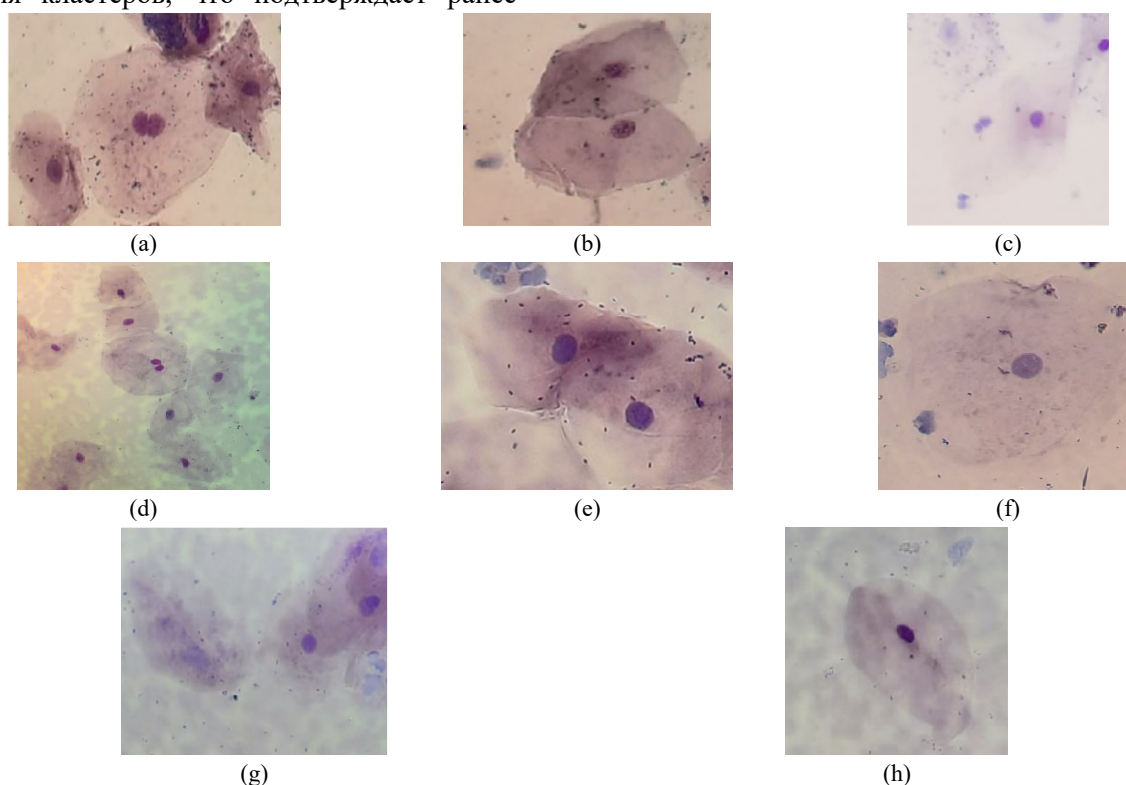


Рисунок 1. Клетки буккального эпителия человека с: (а) насечкой; (b) кариорексисом; (с) протрузией типа «язык»; (d) двумя ядрами; (e) микроядром; (f) перинуклеарной вакуолью; (g) кариолизисом; (h) кариопикнозом

Figure 1. Human buccal epithelial cells with (a) notch, (b) karyorexis, (c) tongue-like protrusion, (d) two nuclei, (e) micronucleus, (f) perinuclear vacuole, (g) karyolysis, (h) karyopiknosis

Таблица 2.

Индекс репарации и индекс накопления цитогенетических нарушений в буккальном эпителии человека в контрольной группе и у лиц, употреблявших охмеленное и не охмеленное сусло

Table 2.

Index of reparation and index of accumulation of cytogenetic disorders in human buccal epithelium in the control group and in persons who consumed hoped and unhopped wort

Показатель Indicator	Контроль Control			Без хмеля Without hops			С хмелем With hops		
	Образец 1 Sample 1	Образец 2 Sample 2	Образец 3 Sample 3	Образец 1 Sample 1	Образец 2 Sample 2	Образец 3 Sample 3	Образец 1 Sample 1	Образец 2 Sample 2	Образец 3 Sample 3
RI	22,71 ± 9,0 Me = 14,5	19,45 ± 7,0 Me = 12	19,26 ± 5,2 Me = 17	16,72 ± 4,0 Me = 12,8	28,53 ± 15,6 Me = 9,4	8,4 ± 2,1 Me = 7,3	17,06 ± 4,0 Me = 12,8	28,5 ± 15,6 Me = 16,6	22,9 ± 2,1 Me = 13,1
Cv, %	115	101	80,1	85,1	197	88,6	79,5	61,7	108,3
Iac	6,7 ± 3,6 Me = 1,9	2,3 ± 0,6 Me = 1,7	2,4 ± 1,0 Me = 0,6	11,1 ± 4,0 Me = 2,7	7,9 ± 5,3 Me = 1,9	2,6 ± 1,6 Me = 2,5	3,5 ± 0,9 Me = 2,18	3,3 ± 2,8 Me = 1,9	2,6 ± 1,2 Me = 1,2
Cv, %	153	69,7	125	128	29,8	27,5	84,2	66,9	150

Как следует из анализа дендрограммы, нельзя выделить отдельные кластеры, группирующие отдельные серии экспериментов, т. е. можно говорить о том, что употребление такого рода напитков не сказывается на изучаемых цитогенетических показателях клеток буккального эпителия человека.

Нами был проведен факторный анализ. Результаты факторного анализа представлены на рисунке 3 (таблица 4). Факторный анализ позволил выявить один фактор, отражающий 96,37% дисперсии системы.

Таблица 3.

Кластерные расстояния между сериями экспериментов по употреблению обследуемыми охмеленных и неохмеленных образцов, вычисленные на основании индекса репарации и индекса накопления цитогенетических нарушений (средние значения, медианы и коэффициенты вариации) в буккальных эпителиоцитах

Table 3.

Cluster distances between series of experiments on consumption of hopped and unhopped samples by the subjects, calculated on the basis of the reparation index and the cytogenetic disturbance accumulation index (mean values, medians, and coefficients of variation) in buccal epithelial cells

	K1	K2	K3	Бх1	Бх2	Бх3	Ох1	Ох2
K2	2,587							
K3	2,316	2,228						
Бх1	3,01	4,044	4,53					
Бх2	3,993	3,771	5,2	4,967				
Бх3	4,962	3,353	5,114	4,196	5,235			
Ох1	2,375	0,984	2,066	3,372	4,329	3,146		
Ох2	3,759	2,55	4,01	4,649	4,159	4,102	2,824	
Ох3	1,574	1,939	1,726	4,154	4,306	4,814	2,08	3,214

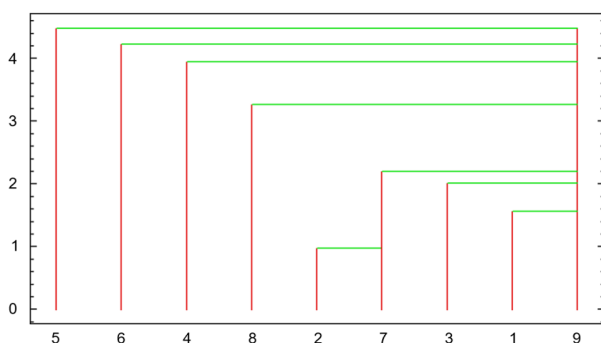


Рисунок 2. Дендрограмма кластерных расстояний между сериями экспериментов по употреблению охмеленных и неохмеленных образцов

Figure 2. Dendrogram of cluster distances between series of experiments on hopped and unhopped samples

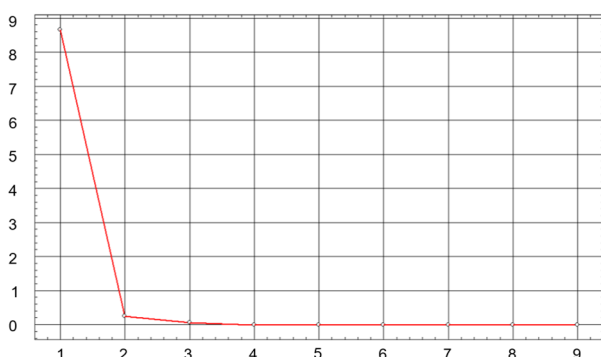


Рисунок 3. График собственных значений факторов (ось Y) относительно номеров факторов (ось X)

Figure 3. Graph of the eigenvalues of the factors (Y-axis) relative to the numbers of factors (X-axis)

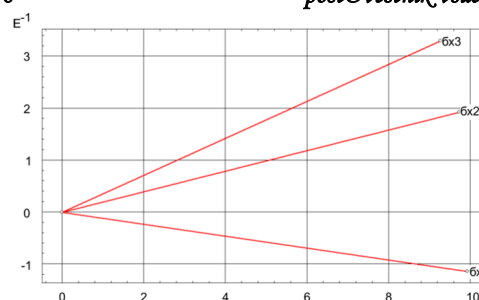


Рисунок 4. Факторный анализ результатов экспериментов по влиянию употребления охмеленных и неохмеленных образцов на индекс репарации и индекс накопления цитогенетических нарушений

Figure 4. Factor analysis of the results of experiments on the effect of using hopped and unhopped samples on the reparation index and cytogenetic disorders accumulation index

Таблица 4.

Собственные значения и процент объясняемой дисперсии факторов

Table 4.

Eigenvalues and percentage of explained variance of factors

Фактор Factor	1	2
Собственные значения Eigenvalues	8,6740	0,261
Дисперсия, % Dispersion, %	96,37	2,9
Накопленная дисперсия, % Cumulative var., %	96,37	99,27

Закключение

Получены результаты исследования *in vivo* образцов суслы с целью выявления возможного отрицательного влияния хмеля, который вносит вклад в увеличение экстрактивных компонентов в готовом напитке при сухом охмелении и содержит большое количество биологически активных соединений (горькие и фенольные вещества, эфирные масла), на организм человека.

Проведен анализ частот встречаемости аномалий ядра в клетках буккального эпителия у лиц, употребляющих охмеленные и неохмеленные образцы суслы, на частоту встречаемости клеточных нарушений в буккальном эпителии человека. Обнаружены следующие типы нарушений: клетки с микроядрами, двумя ядрами, насечками, перинуклеарными вакуолями, протрузиями типа «язык» и «разбитое яйцо», кариопикнозом, кариолизисом и кариорексисом. На основании полученных данных вычислены индексы репарации (RI) и накопления цитогенетических нарушений (Iac).

Не выявлено влияние хмеля на индекс репарации и индекс накопления цитогенетических нарушений. Методами факторного анализа показано, что основной вклад в дисперсию системы признаков будет вносить фактор «специфичность изучаемых цитогенетических показателей».

Литература

1. Malowicki M. G., Shellhammer T. H. Isomerization and degradation kinetics of hop (*Humulus lupulus*) acids in a model wort-boiling system // *Journal of agricultural and food chemistry*. 2005. 53. № 11. С. 4434–4439. DOI:10.1021/jf0481296.
2. Jaskula B., Goiris K., van Opstaele F., Rouck G. de, Aerts G., Cooman L. de. Hopping technology in relation to α -acids isomerization yield, final utilization, and stability of beer bitterness // *Journal of the American Society of Brewing Chemists*. 2018. 67. № 1. С. 44–57. DOI:10.1094/ASBCJ-2009-0106-01.
3. Новикова И. В., Рукавицын П. В., Муравьев А. С. Оптимизация технологических параметров процесса сухого охмеления с разработкой методики интегральной оценки качества пива // *Хранение и переработка сельхозсырья*. 2021. № 3. С. 163–175. DOI:10.36107/spfp.2021.234.
4. Новикова И. В., Рукавицын П. В., Муравьев А. С. Влияние основных параметров процесса сухого охмеления на физико-химические показатели пива // *Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов*. 2018. 6 (53). С. 9–17.
5. Калаев В. Н., Артюхов В. Г., Нечаева М. С. Микроядерный тест буккального эпителия ротовой полости человека: проблемы, достижения, перспективы // *Цитология и генетика*. 2014. 48. № 6. С. 62–80.
6. Юрченко В. В. Микроядерный тест на буккальных эпителиоцитах человека. // *Полиорганный микроядерный тест в эколого-гигиенических исследованиях* / Ю. А. Рохманин. М.: Гениус, 2007.
7. Гернет М. В., Кобелев К. В., Грибова И. Н. Исследование влияния состава сырья на качество и безопасность готового пива. Часть I. Влияние состава зернового и сахаросодержащего сырья на образование летучих компонентов в пиве // *Пиво и напитки*. 2015. № 2. С. 32–37.
8. Гернет М. В. Перспективы расширения ассортимента напитков брожения для пивоваренных заводов малой мощности // *Пиво и напитки*. 2017. С. 14–17.
9. Podeszwa T., Harasym Joanna. New methods of hopping dryhopping and their impact on sensory properties of beer // *Acta Innovations*. 2016. № 21. С. 79–86.
10. Haseleu G., Intelmann D., Hofmann T. Identification and RP-HPLC-ESI-MS/MS quantitation of bitter-tasting beta-acid transformation products in beer // *Journal of agricultural and food chemistry*. 2009. 57. № 16. С. 7480–7489. DOI:10.1021/jf901759y.
11. Чеснокова А. Н., Луцкий В. И. Пренилхалконы хмеля обыкновенного (*Humulus lupulus* L.): выделение, строение, перспективы использования // *Известия Иркутского государственного университета. Серия: Биология. Экология*. 2008. 1. № 2. С. 94–96.
12. Taylor A. W., Barofsky E., Kennedy J. A., Deinzer M. L. Hop (*Humulus lupulus* L.) proanthocyanidins characterized by mass spectrometry, acid catalysis, and gel permeation chromatography // *Journal of agricultural and food chemistry*. 2003. 51. № 14. С. 4101–4110. DOI:10.1021/jf0340409.
13. van Opstaele F., Causmaecker B. de, Aerts G., Cooman L. de. Characterization of novel varietal floral hop aromas by headspace solid phase microextraction and gas chromatography-mass spectrometry/olfactometry // *Journal of agricultural and food chemistry*. 2012. 60. № 50. С. 12270–12281. DOI:10.1021/jf304421d.

References

- 1 Malowicki M. G., Shellhammer T. H. Isomerization and degradation kinetics of hop (*Humulus lupulus*) acids in a model wort-boiling system. *Journal of agricultural and food chemistry*. 2005. 53. no. 11. pp. 4434–4439. DOI:10.1021/jf0481296.
- 2 Jaskula B., Goiris K., van Opstaele F., Rouck G. de, Aerts G., Cooman L. de. Hopping technology in relation to α -acids isomerization yield, final utilization, and stability of beer bitterness. *Journal of the American Society of Brewing Chemists*. 2018. 67. no. 1. pp. 44–57. DOI:10.1094/ASBCJ-2009-0106-01.
- 3 Novikova I. V., Rukavitsyn P. V., Murav'ev A. S. Optimization of technological parameters of the dry-climbing process with the development of an integrated beer quality assessment methodology. *Khranenie i pererabotka sel'khozsyrya* [Storage and processing of agricultural raw materials]. 2021. pp. 163–175. DOI: 10.36107/spfp.2021.234 (in Russian).
- 4 Novikova I. V., Rukavitsyn P. V., Murav'ev A. S. The influence of the main parameters of the dry hangover process on the physicochemical indicators of beer. *Tekhnologiya i tovarovedenie innovatsionnykh pishchevykh produktov* [Technology and product science of innovative food products]. 2018. pp. 9–17. (in Russian).
- 5 Kalaev V. N., Artyukhov V. G., Nechaeva M. S. Micronuclear test of the beechal epithelium of the human oral cavity: problems, achievements, prospects. *Tsitologiya i genetika* [Cytology and genetics]. 2014. pp. 62–80. (in Russian).
- 6 Yurchenko V. V., Rokhmanin Yu. A. Mikroyadernyi test na bukkal'nykh epiteliotsitakh cheloveka. *Polioorgannyi mikroyadernyi test v ekologo* [Micronuclear test on man's beechal epitheliotsitis. Polio micronuclear test in an eco-logical]. M.: Genius 2007. p. (in Russian).
- 7 Gernet M. V., Kobleev K. V., Gribova I. N. Study of the impact of the composition of raw materials on the quality and safety of finished beer. Part I. The effect of the composition of grain and sugar-containing raw materials on the formation of volatile components in beer. *Pivo i napitki* [Beer and drinks]. 2015. no. 2. pp. 32–37. (in Russian).
- 8 Gernet M. V. Prospects for expanding the range of fermentation beverages for low-power breweries. *Pivo i napitki* [Beer and drinks]. 2017. pp. 14–17. (in Russian).
- 9 Podeszwa T., Harasym Joanna. New methods of hopping dryhopping and their impact on sensory properties of beer. *Acta Innovations*. 2016. no. 21. pp. 79–86.

10 Haseleu G., Intelmann D., Hofmann T. Identification and RP-HPLC-ESI-MS/MS quantitation of bitter-tasting beta-acid transformation products in beer. *Journal of agricultural and food chemistry*. 2009. 57. no. 16. pp. 7480–7489. DOI:10.1021/jf901759y.

11 Chesnokova A. N., Lutsii V. I. Prenilalkons of common hops (*Humulus lupulus* L.): selection of prospects for the use of. *Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Biologiya. Ekologiya* [News of Irkutsk State University. Series: Biology. Ecology]. 2008. pp. 94–96. (in Russian).

12 Taylor A. W., Barofsky E., Kennedy J. A., Deinzer M. L. Hop (*Humulus lupulus* L.) proanthocyanidins characterized by mass spectrometry, acid catalysis, and gel permeation chromatography. *Journal of agricultural and food chemistry*. 2003. 51. no. 14. pp. 4101–4110. DOI:10.1021/jf0340409.

13 van Opstaele F., Causmaecker B. de, Aerts G., Cooman L. de. Characterization of novel varietal floral hop aromas by headspace solid phase microextraction and gas chromatography-mass spectrometry/olfactometry. *Journal of agricultural and food chemistry*. 2012. 60. no. 50. pp. 12270–12281. DOI:10.1021/jf304421d.

Сведения об авторах

Инна В. Новикова д.т.н., профессор, кафедра технологии броидильных и сахаристых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, noviv@list.ru

<https://orcid.org/0000-0002-2360-5892>

Владислав Н. Калаев д.б.н., профессор, кафедра генетики, цитологии и биоинженерии, Воронежский государственный университет, Университетская площадь, 1 г. Воронеж, 394018, Россия, dr_huixs@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-4247-4509>

Александр С. Муравьев к.т.н., инженер, отдел стандартизации и метрологии, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, hntrun@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-4247-4509>

Павел В. Рукавицын к.т.н., кафедра технологии броидильных и сахаристых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, kaf-tbsp@vsuet.ru

Оксана Ю. Мальцева к.т.н., доцент, кафедра биохимии и биотехнологии, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, ksenia2002@list.ru

Иван Н. Криваносов магистрант, кафедра технологии броидильных и сахаристых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, kaf-tbsp@vsuet.ru

Вклад авторов

Инна В. Новикова предложила методику проведения эксперимента

Владислав Н. Калаев организовал производственные испытания

Александр С. Муравьев консультация в ходе исследования

Павел В. Рукавицын написал рукопись, корректировал её до подачи в редакцию и несёт ответственность за плагиат

Оксана Ю. Мальцева проведение эксперимента, выполнила расчёты

Иван Н. Криваносов обзор литературных источников по исследуемой проблеме, проведение эксперимента

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Inna V. Novikova Dr. Sci. (Engin.), professor, Department of Technology of Fermentation and Sugar Production, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, noviv@list.ru

<https://orcid.org/0000-0002-2360-5892>

Vladislav N. Kalaev Dr. Sci. (Boil.), professor, Department of Genetics, Cytology and Bioengineering, Voronezh State University, University Square, 1 Voronezh. Voronezh, 394018, Russia, dr_huixs@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-4247-4509>

Aleksandr S. Muravev Cand. Sci. (Engin.), engineer, department of standardization and metrology, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, hntrun@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-4247-4509>

Pavel V. Rukavitsyn Cand. Sci. (Engin.), Department of Technology of Fermentation and Sugar Production, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, kaf-tbsp@vsuet.ru

Oksana Y. Maltseva Cand. Sci. (Engin.), assistant professor, Department of Biochemistry and Biotechnology, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, ksenia2002@list.ru

Ivan N. Krivanosov master student, Department of Technology of Fermentation and Sugar Production, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, kaf-tbsp@vsuet.ru

Contribution

Inna V. Novikova proposed a scheme of the experiment

Vladislav N. Kalaev organized production trials

Aleksandr S. Muravev consultation during the study

Pavel V. Rukavitsyn wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

Oksana Y. Maltseva conducted an experiment, performed computations

Ivan N. Krivanosov review of the literature on an investigated problem, conducted an experiment

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 11/09/2022

После редакции 18/10/2022

Принята в печать 29/10/2022

Received 11/09/2022

Accepted in revised 18/10/2022

Accepted 29/10/2022