

**ФОНД СОДЕЙСТВИЯ  
ИННОВАЦИЯМ**



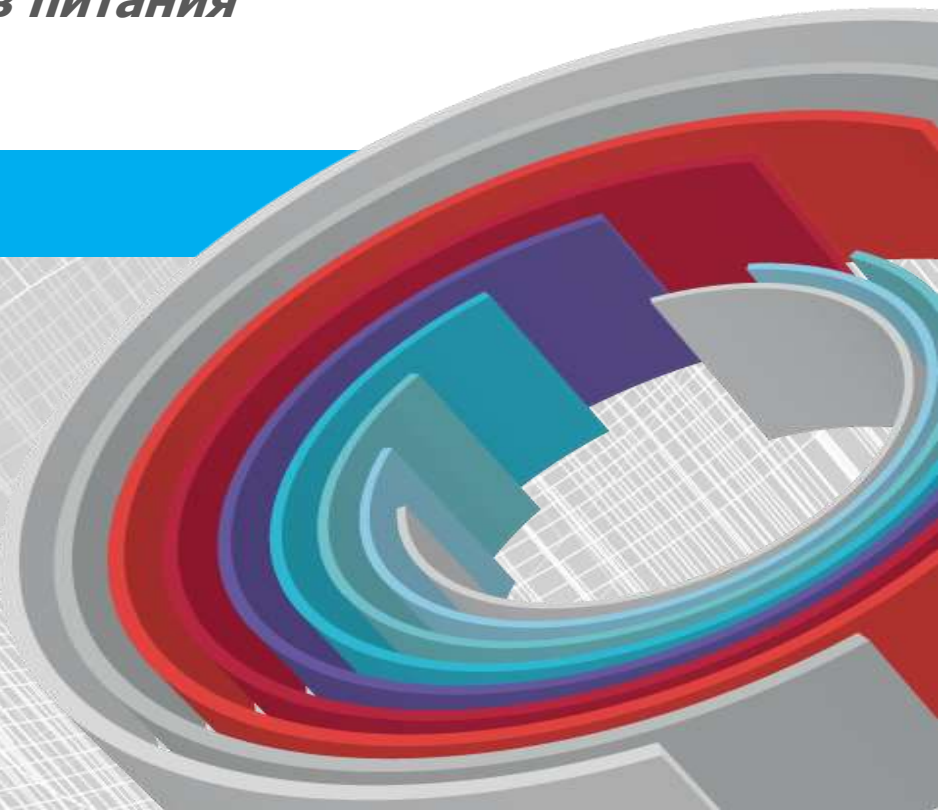
***Разработка технологии, повышающей степень  
резистентности крахмалов к действию  
амилолитических ферментов для применения  
в производстве продуктов питания***

*Номер заявки* **75706**

*26.07.2021*

*Кузина Лидия Борисовна, аспирант 4-го года обучения,  
м.н.с. ВНИИК – филиал ФНЦ пищевых систем Горбатова;  
н.с. ФГБУН ЦИПБ РАН*

*Московская область,  
Москва*



# Актуальность

В мире около 2 миллиардов человек имеют избыточный вес, и свыше 600 тысяч страдают ожирением (ВОЗ). В России почти каждый 4-ый (23%) имеет ожирение, а примерно каждый 2-ой избыточный вес (по данным Минздрава).

**ВОЗ: среднее число калорий потребляемых человеком в сутки 15 лет назад – 2 900 ккал, сейчас – 3 400 ккал!!!!**

Более 422 миллионов человек страдают сахарным диабетом (ВОЗ). На данный момент в России предположительная распространенность 5,7%, численность больных - 9 миллионов (по данным Росстата).

Рабочая группа Международного агентства по изучению рака отнесла **красное мясо ко второй А группе канцерогенов,** а **продукцию мясопереработки** (ветчина, салями, бекон, сосиски, мясные консервы, солонина) к канцерогенам первой группы, вызывающим рак толстого кишечника.

Департамент здравоохранения рекомендовал сократить потребление красного мяса и мясоколбасных изделий до 70 г/сут.

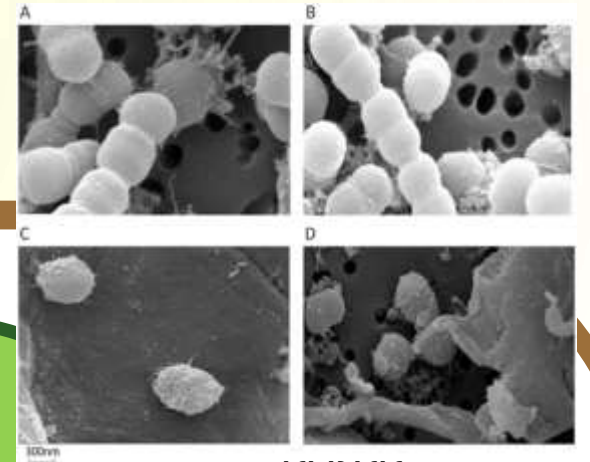
**Каждое превышение нормы на 50 г/сут., повышает вероятность рака на 18 %.**



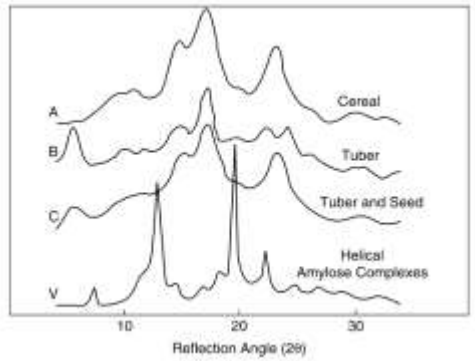
# РЕЗИСТЕНТНЫЙ КРАХМАЛ

Topping D.L., Clifton P.M. модифицированная

Микрофотографии грамположительных неподвижных анаэробных аспорогенных бактерий рода *Ruminococcus*, выращенных на целлобиозе: (A) 007C, (B) 007S; на целлюлозе: (C) 007C, (D) 007S (Vodovnik M. и другие, 2013)

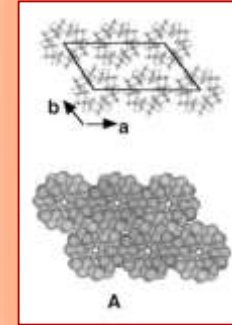


# Факторы, влияющие на степень резистентности крахмалов

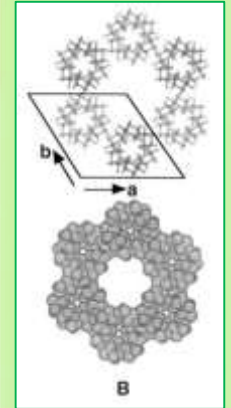


Графики дифракции рентгеновских лучей для различных крахмалов и амилозы A, B, C, V кристалличностей (Cui, 2005)

злаковые (пшеница, кукуруза, овес, рис), клубнеплоды ( маниок, батат)



корнеплоды и клубнеплоды (картофель), злаки (высокоамилозные: ячмень, кукуруза, рис)

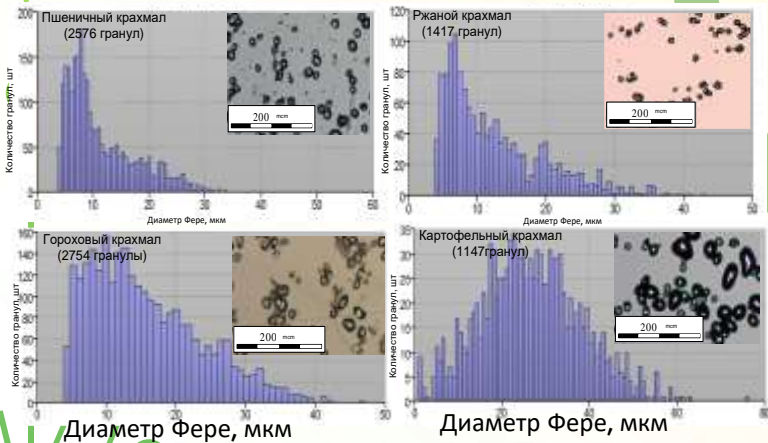


картофельный – 15-100 мкм, кукурузный – 5-25 мкм, пшеничный – 2-10 и 20-35 мкм

**Размер крахмальных гранул**

**Степень резистентности крахмала**

**Тип кристалличности**



Микрофотографии гранул пшеничного, ржаного, горохового и картофельного крахмалов x 100 (ВНИИК, Костенко, 2017)

зернобобовые (горох, фасоль, нут)

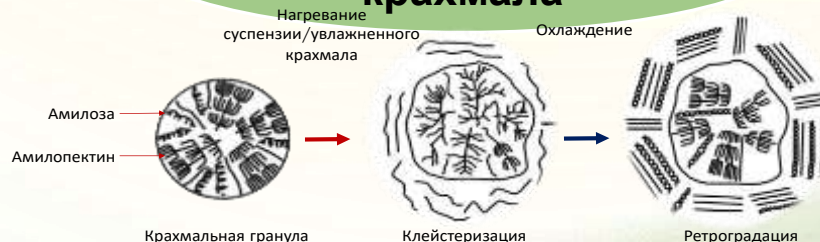


амилоза+липид



взаимодействие крахмал-белок и образование амилоза+липид комплексов

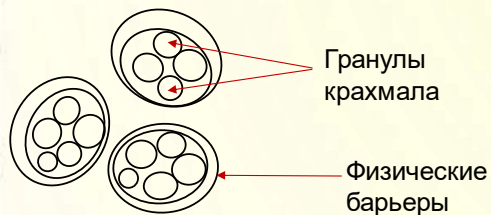
**Доля ретроградированного крахмала**



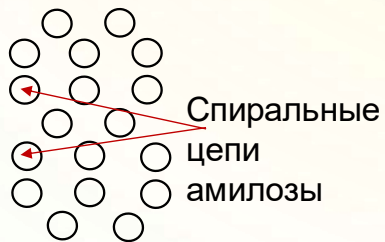
(Buléon et al., 1998, 2007)

# Типы резистентных крахмалов

**Тип I (PK<sub>1</sub>)** – крахмал недоступный для пищеварительных ферментов (клеточные стенки, белковые матрицы)



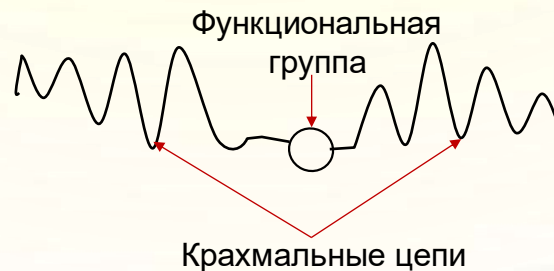
**Тип II (PK<sub>2</sub>)** – нативный крахмал из картофеля, зеленых бананов и высокоамилозные кукурузные, гороховые крахмалы



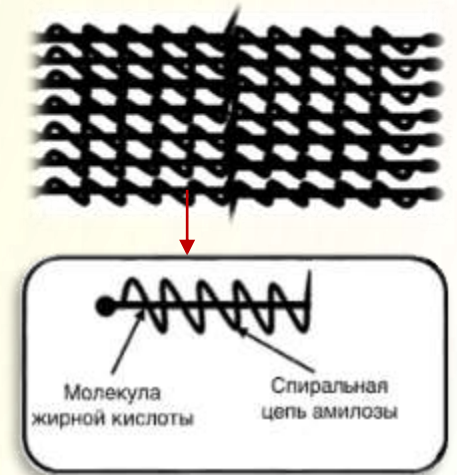
**Тип III (PK<sub>3</sub>)** – ретроградированный крахмал в (экструдат или крахмальный клейстер полукристаллической структуры)



**Тип IV (PK<sub>4</sub>)** – химически модифицированные крахмалы



**Тип V (PK<sub>5</sub>)** – амилоза+липид комплексы и устойчивый мальтодекстрин



# Классификация крахмалов и крахмалопродуктов по степени резистентности

В мире существует классификация резистентных крахмалов в зависимости от их структуры и модификации, но не по величине степени их резистентности. В будущем, сотрудниками ВНИИК планируется введение ранжирования крахмалов и крахмалопродуктов по СР:

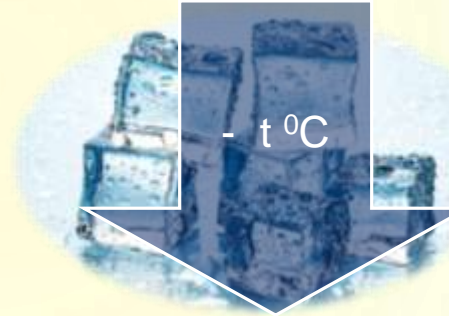
1. до 10 % – низкая степень резистентности (не резистентные);
2. от 11 до 30 % – средняя степень резистентности (со средней долей фракции РК);
3. от 31 до 70 % – повышенная степень резистентности (с повышенной долей фракции РК);
4. от 71 % – высокая степень резистентности (с высокой долей фракции РК).

# Способы повышения степени резистентности крахмалов

## Физические



Смешивание  
пищевые волокна+крахмал

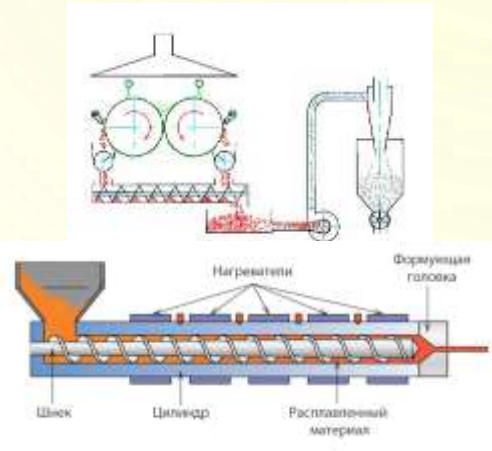


Криомодификация

неплотные внутренние каркасы, образует пористую структуру. Повторная клейстеризация не происходит. Продукция будет устойчива к повышению температур.

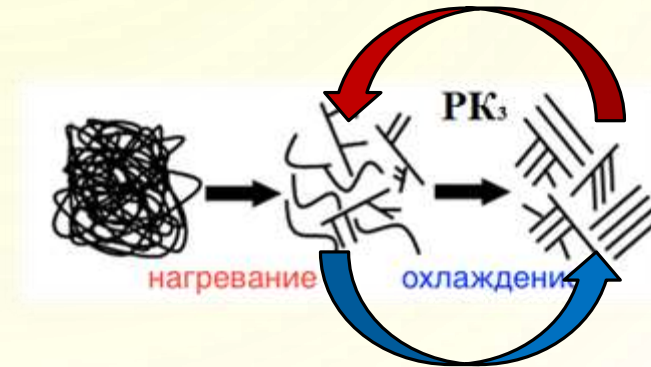
✓ **Ретроградация амилозы** пшеничного крахмала до степени полимеризации (DPn) от 19 до 26, картофельного крахмала – 39-52, горохового – 5-35. **Более высокая СР**

✓ **Ретроградация амилопектина** – образование кристаллических структур со степенью полимеризации от 6 до более 50 (при  $t$  от 30 до 80 °C). **Более низкая СР**



Экструзионная обработка  
и вальцевание

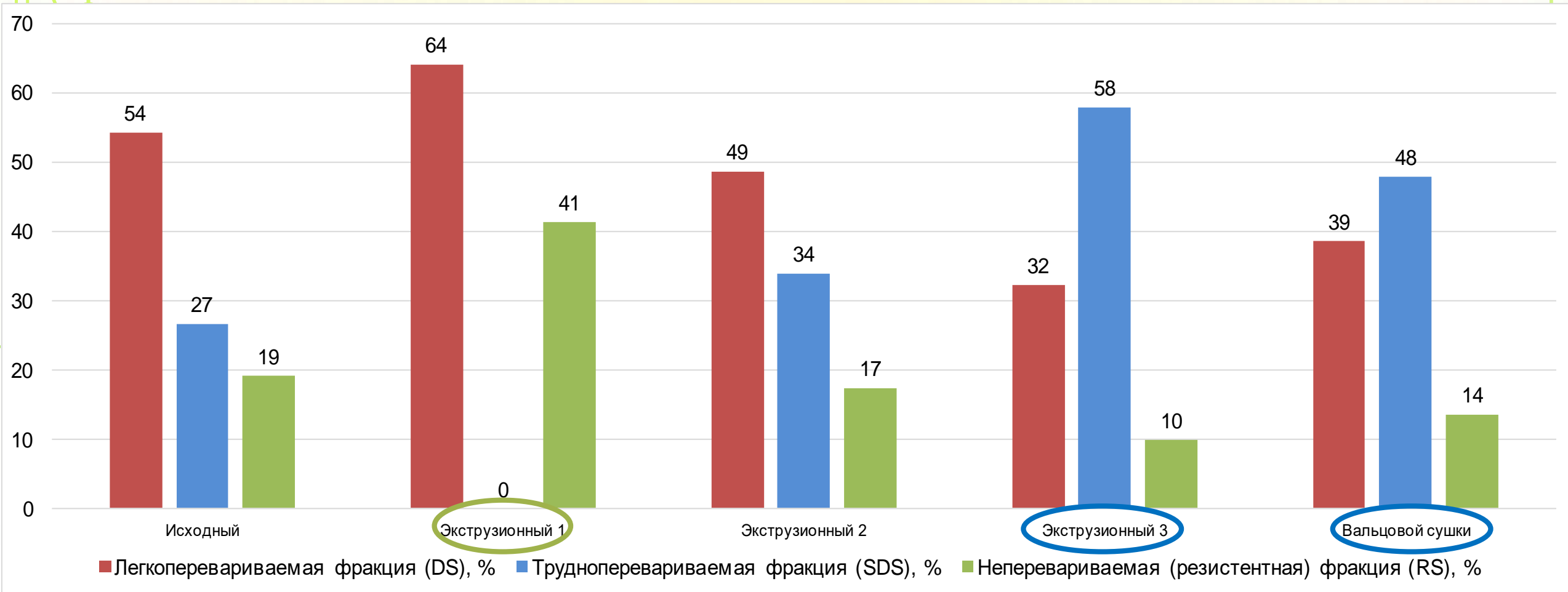
Высокие показатели жиросвязывающей и водосвязывающей способностей – стабилизация эмульсий, улучшение текстуры, увеличивает устойчивость и срок хранения продуктов питания



Циклы нагревания-охлаждения  
клейстеров

образует более короткие линейные цепи, последующее охлаждение приводит к образованию двойных спиральных агрегатов, более устойчивых к гидролизу.

# Физические способы повышения SDS и RS (ВНИИК)



Гликемический индекс (in vitro) – (сумма DS и SDS или  $100 - RS/CP/PK$ ) – показатель влияния углеводов из продуктов питания на изменение уровня сахара в крови относительно 100%-ой чистой глюкозы. Значения GI нативных крахмалов варьируются в пределах 70-95 единиц, что по классификации Glycemic Index Foundation (для продуктов питания) относят к высоким показателям.



# Способы повышения степени резистентности крахмалов

**Химические** – кислотный гидролиз, сшивание (фосфатирование, ацелирование), окисление, гидроксипропилирование, карбоксиметилирование или комбинация

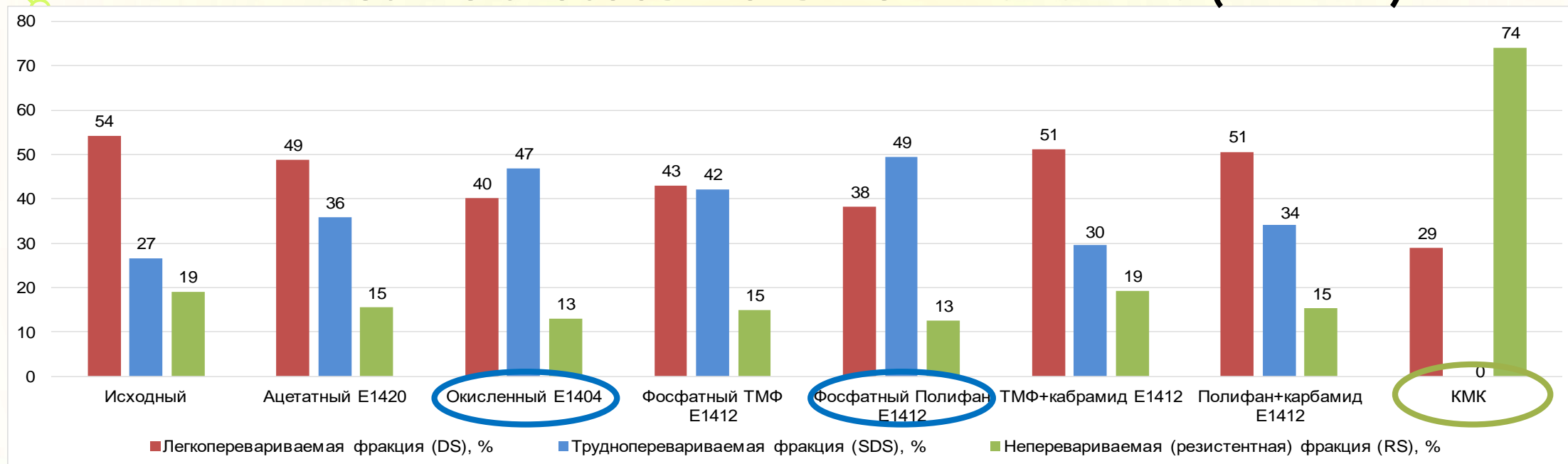


Химический реагент препятствует правильному связыванию ферментов с крахмалом

- **Ацелированный и гидроксипропилированный крахмалы** – в 2-3 раза выше, чем у нативных.
- **При окислении** (кислород, озон, гипохлорит натрия, перекись водорода) образуются функциональные группы (карбонильные и карбоксильные), которые препятствуют ферментативному гидролизу.
- **Гидроксипропилированный дикрахмалфосфат и ацелированный дикрахмалфосфат** в 2 раза более низкая СР, чем у нативного.
- **Декстрины** – СР увеличивается с возрастанием степени декстринизации и времени процесса, в 3-4 раза.
- **Карбоксиметилирование** повышает СР в 2-3 раза.
- **Линеаризация или кислотный гидролиз** – обработка неорганической кислотой. Из-за разрушения аморфных участков крахмала обработка соляной кислотой приводит к увеличению соотношения кристаллических частей, к которым ферментам труднее получить доступ.

**РК увеличивается с ростом числа химических воздействий на него, проведенных одновременно.** Повышение СР наблюдается у монокрахмалфосфата и увеличиваются вместе со степенью замещения фосфорной кислотой. Монокрахмалфосфат, полученный взаимодействием с глицином при нагревании, отличается большей СР (в 1,5-2 раза) по сравнению с просто монокрахмалфосфатом и исходным крахмалом. Это объясняется тем, что процесс приводит к декстринизации.

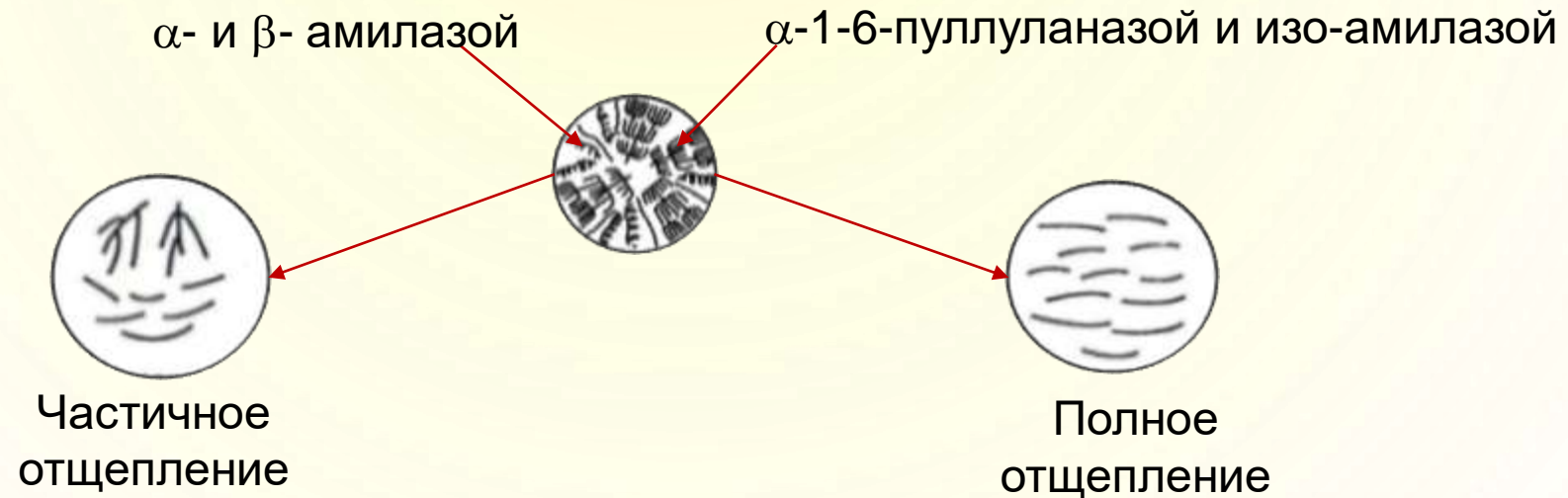
# Химические способы повышения SDS и RS (ВНИИК)



- ✓ **Дикрахмалфосфат** — ГОСТ Р 33782-2016. Distarch Phosphate. СанПиН 2.3.2.1293-03 – вещество может быть использовано в качестве связующего агента, загустителя, стабилизатора. E1412 получают в результате химической реакции этерификации, путем добавления натриевых солей метафосфорной кислоты или других фосфорилирующих агентов и карбамида (или без него).
- ✓ **Ацетилированный крахмал** — ГОСТ 33782-2016. Acetylated Starch. E1420 относится к категории стабилизаторов консистенции продуктов. Получают нагреванием до температуры кипения смеси, с использованием **ледяной уксусной кислоты** или уксусного ангидрида. Снижает вязкость клейстеров, но повышает их стабильность и пленкообразующую способность.
- ✓ **Крахмал окисленный** — СанПиН 2.3.2.1293-03. Oxidized starch. Технические характеристики, условия упаковки и применения добавки E 1404 регулирует ГОСТ Р 54647-201. Для улучшения консистенции пищевых изделий – табилизатор, загуститель, структурообразователь. Окисление проводят перекисью водорода или перманганатом калия. Реакция протекает в водной среде в присутствии сернистого железа в качестве катализатора.
- ✓ **КМК** – карбоксиметилкрахмал, CMS (Номер CAS 9063-38-1). GB 29937-2013 «Карбоксиметилкрахмал - пищевая добавка, национальный стандарт пищевой безопасности» (Китай, Тайвань, Вьетнам), степень замещения не более 0,2 моль/моль. При степени замещения 0,1 (0,01) моль/моль и выше в холодной воде образует устойчивые вязкие клейстеры – хороший загуститель, стабилизатор, структурообразователь разных пищевых (мороженое, низкожировые маргарины, масло, кремы, майонезы) и непищевых систем. КМК используется в качестве суспендирующего реагента и в пероральных фармацевтических препаратах, в составах капсул и таблеток (от 2% до 8%).

# Способы повышения степени резистентности крахмалов

**Ферментативные** – разрушение амилопектина  $\alpha$ -1-6-пуллуланазой и изо-амилазой, аморфных областей –  $\alpha$ - и  $\beta$ - амилазой.



Цель – гидролиз разветвленных цепей амилопектина и превращение их в линейные. Последующая ретроградация приводит к повышению СР крахмала, образуется РКз с двойной спиральной структурой, стабилизированной гидроксильными группами.

# Способы повышения степени резистентности крахмалов

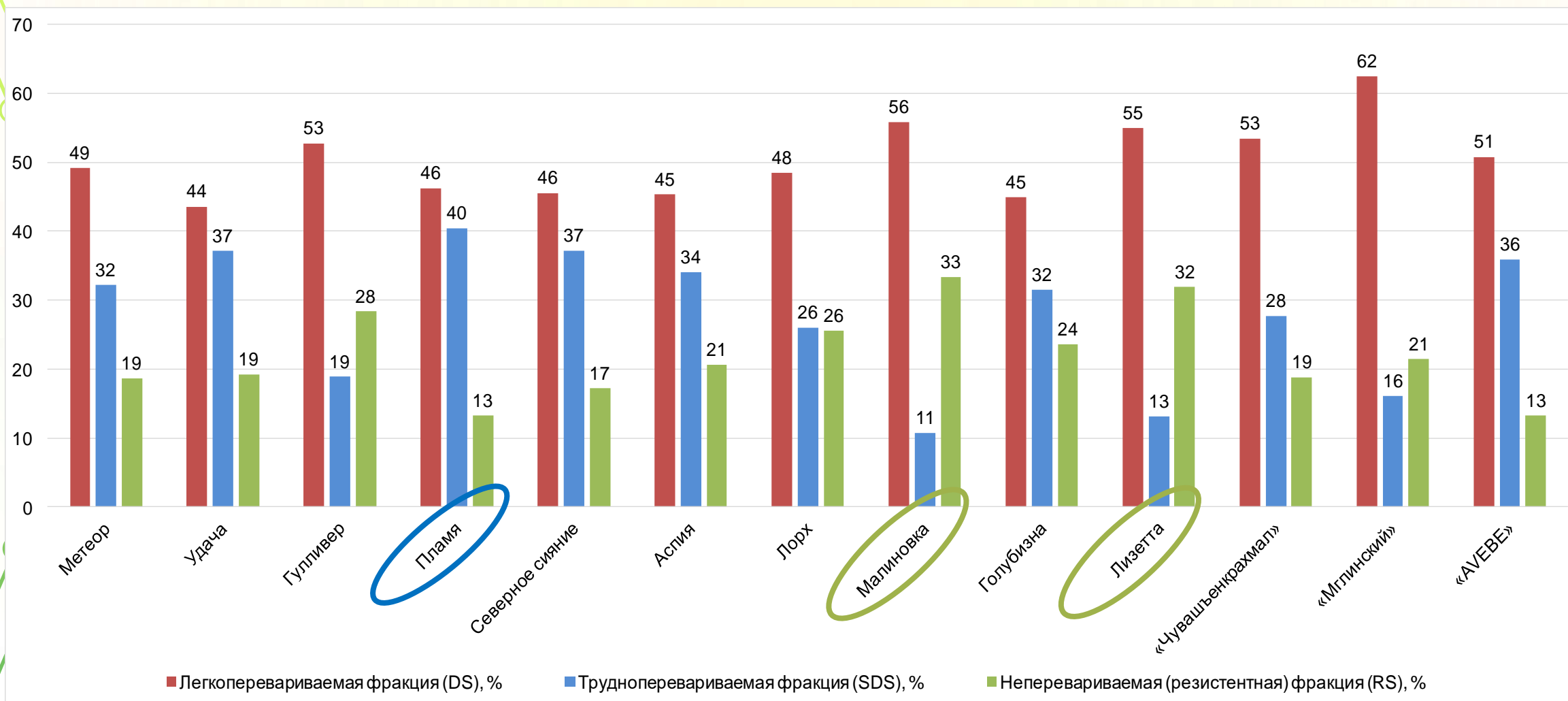
**Генетические** – выведение сортов высокоамилозного сельхозсырья с крупными крахмальными гранулами



## Физико-химическая характеристика сортов картофеля (НСР 0,05 по СР = 1,8 %)

Наименование сорта	Классификация сорта	Период созревания, сут.	Массовая доля крахмала в клубнях, %	Массовая доля влаги, %	Динамическая вязкость 2%-ного клейстера, мПа*с	Массовая доля амилозы, %	Массовая доля РК (СР), %
<b>Метеор</b>	Сверхранний (1)	45-60	10-16	14,75	848,6	37,1	<b>18,7</b>
<b>Удача</b>	Среднеранний (2)	60-75	10-13	13,0	600,0	40,2	<b>19,3</b>
<b>Гулливвер</b>	Среднеранний (2), засухоустойчивый	60-70	11-14	13,45	614,0	35,2	<b>28,4</b>
<b>Пламя</b>	Среднеспелый (3)	60-80	14,6-16,9	11,9	820,0	32,5	<b>13,3</b>
<b>Северное сияние</b>	Среднеспелый (3)	80-95	14,7-15,7	12,8	530,0	28,3	<b>17,2</b>
<b>Аспия</b>	Среднеспелый (3)	80-95	9-14	13,95	1148,0	35,4	<b>20,6</b>
<b>Лорх</b>	Среднепоздний, (4) среднеустойчивый	110-120	15-20	11,55	199,6	22,1	<b>25,5</b>
<b>Малиновка</b>	Среднепоздний (4)	115-125	16-18	13,55	1067,9	30,4	<b>33,4</b>
<b>Голубизна</b>	Среднеспелый (3)	100-115	17-19	13,5	429,1	30,4	<b>23,6</b>
<b>Лизетта (Нидерланды)</b>	Среднеранний (2)	до 120	~10	12,85	998,0	48,1	<b>31,9</b>

## Массовые доли фракций DS, SDS, RS в картофельных крахмалах из различных сортов картофеля



# Характеристики некоторых резистентных крахмалов

Торговая марка/ Производитель, Страна	Название крахмала	Сырье	Используемая обработка крахмала	Калорийность, ккал/ 100 г	СР (РК), %
1	2	3	4	5	6
<b>ВНИИК, РФ</b>	Резистамил 1 РК-3	Кукурузный или гороховый высокоамилозные крахмалы, выше 35%	Экструзия при 160°C	232,6 гороховый 346,2 кукурузный	-
	Резистамил 2 РК-3	Кукурузная или гороховая мука с содержанием амилозы выше 35%	Экструзия при 160°C	308,8 гороховая 328,8 кукурузная	-
	Резистамил 3 РК-3	Кукурузный или гороховый крахмалы	Вымораживание 24 ч при -10°C	232,6 гороховый 343,6 кукурузный	-
<b>Ingredion, США</b>	Hi-maize 260 РК-2	Высокоамилозный кукурузный крахмал	Нет	268	<b>38,5 (1)</b>
	Novelose 330 РК-3	Высокоамилозный кукурузный крахмал	Экструзия	318	<b>42,5 (1)</b>
	HYLON™ VII	Высокоамилозный кукурузный крахмал	Нет	391	<b>47,4 (1)</b>
<b>Tate &amp; Lyle, США</b>	PROMITOR РК-2+РК-5	Кукурузная растворимая клетчатка, мальтодекстрин	Смесь с пищевыми волокнами	190	-

СР AOAC 2002.02 Megazyme RS (1)

СР методом, ВНИИК (2)

# Характеристики некоторых резистентных крахмалов

Торговая марка/ Производитель, Страна	Название крахмала	Сырье	Используемая обработка крахмала	Калорийность, ккал/ 100 г	СР (РК), %
1	2	3	4	5	6
<b>Natural evolution, Австралия</b>	Green banana Resistant starch PK-2	Банановый крахмал из бананов Lady finger	Ует	336	<b>38 (1)</b>
<b>Cargill, Бельгия</b>	C ☆ Actistar ™ 11700 PK-3	Тапиоковый крахмал	Декстринизация	280	<b>51,8 (1)</b>
<b>Roquette, Франция</b>	EURYLON PK-3	Кукурузный, картофельный и тапиоковый крахмалы 50-80% амилозы	Вальцевание	Нет данных	<b>60 (1)</b>
<b>Opta Food Ingredients, США</b>	CrystaLean® PK-3	Кукурузный крахмал	Клейстеризация	Нет данных	<b>57,8 (1)</b>
<b>Functional matt, Финляндия</b>	FiberFin PK-2	Кукурузный крахмал + кукурузная мезга	Смесь с пищевыми волокнами	с 175	<b>26,6 (2)</b>
<b>Realife, Турция</b>	Resistant starch PK-2	Пшеничный крахмал + пшеничная мезга	Смесь с пищевыми волокнами	с 246	<b>21,5 (2)</b>

СР АОАС 2002.02 Megazyme RS (1)  
СР методом, ВНИИК (2)



## Влияние применения крахмалов с повышенной степенью резистентности на физико-химические и органолептические свойства хлеба

Крахмалы	СР, %	Основной ингредиент	СР после выпечки, %	Эффект применения
<b>Банановый до 35% (Green banana starch PK-2, Green plantain flour с PK-2)</b>	42,2-50,1	Рисовая мука+пшеничный крахмал или +кукурузный амилопектиновый крахмал	0,3-5,7	Более темный цвет хлеба Улучшенный объем, С. твердости и улучшенное сенсорное восприятие, повышенная доля SDS (МУК)
<b>Тапиоковый до 50% (ActiStar 11700 PK-2)</b>	50	Кукурузный+картофельный (4 к 1)	2,1-3,0	С. объема, С. твердости (+20%) уменьшение времени на очерствение (48 ч.)
<b>Пшеничный до 50% (Okumoto PK-2)</b>	6,7	Пшеничная мука	0,9-3	П. твердость и быстрое черствение для +30 и 50%, хорошие показатели +10% П. СР при хранении
<b>Высокоамилозной кукурузы до 30% Hi-Maize-260 PK-2, AMS N-4 PK-4, Novelose-330 PK-3, Eurylon PK-2, EURESTA PK-3, HylonVII PK-2, CrystaLean PK-3</b>	40-82,3	В большинстве случаев пшеничная мука или смесь кукурузный+рисовый+тапиоковый или кукурузная мука	1,2-26,6 (макс. с пшеничной мукой 30% при 60 % у исходного)	П. твердости, С. Эластичность, С. объема при 30% Более легкая корка, С. пористости, С. ГИ, П. оценка потребителей (+ 20%)



Марио М. Мартинес  
Профессор  
(ассистент),  
пищевая и  
биологическая  
инженерия  
Гуэлф, Канада

# Влияние применения крахмалов с повышенной степенью резистентности на физико-химические и органолептические свойства кондитерских изделий

Крахмалы	Продукция	Основной ингредиент	Эффект применения
Высокоамилозный кукурузный РК-2 – 2 образца, РК-3 – 2 образца	Маффины	пшеничная мука + РК-2/РК-3	Ухудшило параметры текстуры (объем и высота кексов, а также количество и площадь газовых ячеек уменьшались. РК-2 маффины - более светлый цвет
Тапиоковый крахмал и декстрин (смесь) N-Dulge Высокоамилозный кукурузный Hi-maize 260	Печенье	пшеничная мука + тапиоковый крахмал 10, 20% (замена жира), РК – 20 и 40%	Потребители не обнаружили существенных различий между контрольным образцом печенья (без замены) и печеньем с заменой 10% жира на N-Dulge и 20% муки на РК
Высокоамилозный кукурузный Hi-maize 260	Печенье	РК 11-22% (замена жира) + улучшитель (комбинация ферментов: альфа-амилазы, протеазы, ксиланазы и гемицеллюлазы) как 0,04–0,15% от смеси	На 142,7% больше пищевых волокон, на 35% меньше жира и на 28,25% меньше калорийности по сравнению с контрольными образцами и было схожим по сенсорным и физическим характеристикам
	Печенье из мягкого теста	17,54 ± 0,05 г жира / 100 г, с полидекстрозой 46,3% и заменой муки на 12,5% РК	Имело качественные характеристики, подобные характеристикам печенья с обычным содержанием жира (31,1 ± 0,4 г жира / 100 г)
	Бисквит для торта	пшеничная мука была заменена на 30%, 40% и 50% РК + глютенный порошок (9:1)	С увеличением РК + глютена температура клейстеризации увеличивалась, пиковая и конечная вязкости снижались. Плотность, вязкость, сроки хранения и потери жидкого теста уменьшились, тогда как размер пузырьков воздуха увеличился. Объем, высота, пористость и твердость уменьшились. С увеличением – светлая корочка и темный мякиш
	Бисквит для торта	пшеничная мука + зародыши пшеницы (0%, 10% и 20%) + РК (0%, 5%, 10% и 15%)	Комбинация при высоком уровне замещения отрицательно повлияла на индекс объема и прочность образцов. Зародыши увеличили темноту, желтизну корочки и крошки коржей. Зародыши в концентрации 20% отдельно или в комбинации с 5% РК давали аналогичную структуру пор, вкус, запах и общий вид как у контрольного пирога

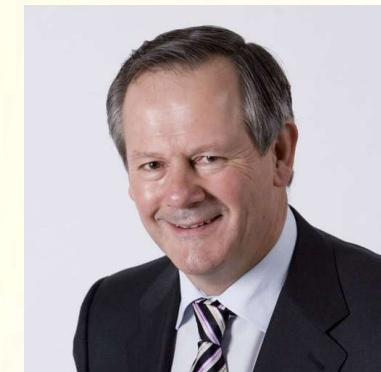
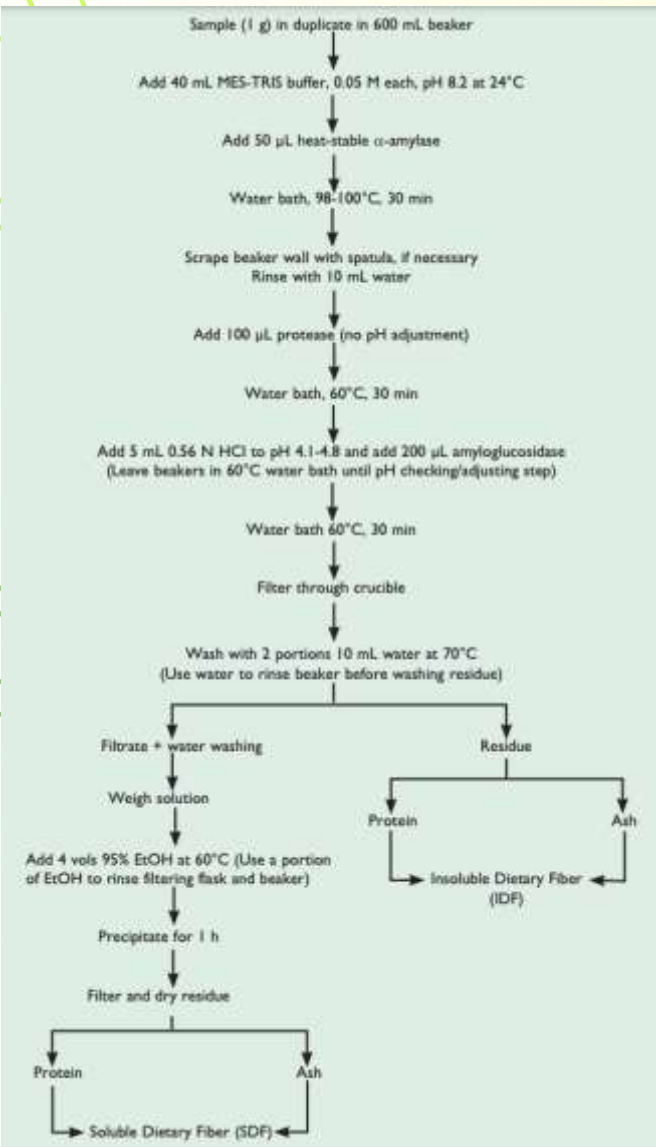
# Влияние применения крахмалов с повышенной степенью резистентности на физико-химические и органолептические свойства мясных изделий

Крахмалы	Продукция	Основной ингредиент	Эффект применения
<b>Высокоамилозный кукурузный (Hi-Maize-260 PK-2)</b>	Болонские колбасы	PK 3-6 г/100 г, с 10 г жира и 1 г соли	Более высокая стабильность эмульсий и нежность конечной продукции
	Эмульсионная колбаса	PK от 0,1-0,6 % и гель миозина куриной грудки	Набухание и усиленное поперечное сшивание между миозиновым хвостом и PK способствовали образованию непрерывной, компактной и гомогенной гелевой структуры – привело к увеличению стабильности геля
	Пробиотическая колбаса	PK = 2,216 г/100 г, β-глюкан (БГ) = 1,328 г/100 г, крахмал = 2,456 г/100 г	PK увеличивал твердость, но при применении PK+β-глюкана продукция была более мягкой
	Эмульсионная колбаса	T1 (10 - PK: 0 – куриная грудка: 0 – суrimi, %), T2 (10:5:0, %), T3 (10:10:5, %), T4 (10:15:10, %) и T5 (10:20:15, %)	T2 и T5 имели пониженные значения pH после 3 недель хранения. Кукурузный крахмал, куриную грудку и суrimi можно использовать в качестве заменителя свинины, можно улучшить физико-химические, текстурные свойства и пережевываемость
	Пробиотическая колбаса	2,216 PK / 1,328 БГ и 2,75 PK / 1,875 БГ	Антимикробные свойства пищевых волокон фиксировались 60 дней. Общее количество жизнеспособных организмов увеличивалось до 45 дня и затем снижалось. Увеличение PK и БГ – окисление жира
<b>Высокоамилозный кукурузный (Novelose 330 PK-3)</b>	Эмульсионная колбаса	-	Частичное сокращение жира положительно влияет на снижение калорийности, стабильности эмульсии, цветовых параметров и анализа профиля текстуры
	Покрытие для мясных полуфабрикатов	без PK, 10 % PK и 20 % PK (оптимум – до 20 г/100 г)	Увеличилось общее содержание пищевых волокон с 5,0 % до 13,2 %. После обжарки – увеличение твердости и хрупкости корочки кляра и более интенсивный золотисто-коричневый цвет
<b>Пшеничный RS4 Fibersym® (MGP), Картофельный PenFibe™ RS (Penford), Тапиоковый ActiStar® RT (Cargill)</b>	Покрытие для мясных полуфабрикатов	PK 1-20% + пшеничная/рисовая или кукурузная мука 65-95% + сахар 0,1-5%+краситель 1%	Обеспечивает превосходные текстурные качества, помогая противостоять проблемам, связанным с традиционными покрытиями при разморозке и приготовлении
<b>Ретроградированная пшеничная мука</b>	Фрикадельки	Мука от 5 г/100 г до 20 г/100 г + фарш (оптимум – 10 г/100 г)	Использование привело к значительному снижению потерь при варке с 21,95 % до 6,19 % и диаметра фрикаделек с 18,60 % до 12,74 %, но к увеличению плотности, с 28,82 % до 41,39 %, по сравнению с контролем

## Влияние применения крахмалов с повышенной степенью резистентности на физико-химические свойства молочных, кисломолочных и макаронных изделий

Продукция	Крахмалы	Основной ингредиент	Эффект применения
Йогурт	Высокоамилозные кукурузные (HI-MAIZE ®260 PK-2, Novelose-330 PK-3)	Молоко + закваска + 1,5% РК, контрольная группа 1,5% сахарозы	РК уменьшали снижение количества жизнеспособных Lactobacillus. РК-3 эффективно защищает Bifidobacterium BB-12, увеличивает вязкость и снижает титруемую кислотность
	Высокоамилозный кукурузный до 30 г (HI-MAIZE ®260) 38,2 % РК	Молоко + черничное пюре + 15 г, контроль, кукурузный крахмал AMIOCA ® , Ingredion или 15 г, HI-MAIZE ®260 на порцию 237 мл	Добавление привело к приемлемым (≥6 баллов по шкале от 1 до 9) сенсорным оценкам йогурта у 74% пациентов
	Тапиоковый	Молоко + закваска + 0, 0,1%, 0,5% и 1%. Кукурузный крахмал (0,6%) использовали в качестве контроля.	Применение 1% в качестве загустителя дает значительное количество резистентного крахмала в йогурте (4,47 г / 100 г – 21 сутки) с приемлемыми сенсорными и физико-химическими свойствами – дает меньший синерезис и хорошую вязкость
Сыр	Высокоамилозный кукурузный (HI-MAIZE ®260)	Моларелла + 0, 2,4, 4,8, 7,2, 9,6 и 12% инулина или РК вместо жира (оптимум – 7,2%)	от 2,4 до 12% твердость полученных имитационных сыров значительно увеличилась, в то время как упругость и плавкость снизились
	Высокоамилозный кукурузный (Merck, Дармштадт, Германия)	Белый Иранский сыр в сыворотке, микрокапсуляция культуры – 2% Na-альгинатная смесь в дист. воде, содержащая 2% РК и 0,1% культуры	Микрокапсулирование бактерий в геле из альгината кальция и устойчивого крахмала способно увеличить их выживаемость в иранском сыре с белым рассолом даже после 6 месяцев хранения
	Высокоамилозный кукурузный (HI-MAIZE ®240)	Сыр с влажностью 52, 55, 57, 58, 60% (казеин, жир, соль, консервирующие вещества) + 21,3, 26,5, 30,7, 34,8 или 43,3% РК	Крахмалосодержащий сыр связывает дополнительно 1,4 г воды / 100 г сухого вещества по сравнению с сыром без крахмала
Мороженое	Банановый крахмал	20-40% РК, 20-40% пюре банана, обезжиренное молоко 20% ~ 30%, диглицерид 4% ~ 8%, Стеаролактат 1% ~ 2%, сложный эфир лимонной кислоты 1% ~ 2%, вода	Замена жира, сахара. Улучшенные сенсорные качества. Не ощущается прогорклости
	Высокоамилозный кукурузный (HI-MAIZE ®260)	нежирное мороженое (4% жира) + мальтодекстрин 0,1 и 2% + резистентный крахмал 0,1 и 2%	Продукт с подходящей вязкостью, скоростью таяния, взбитостью и кислотностью
Паста	HI-MAIZE™260, Fibersym™70, Hi-maize™1043	замена пшеничной муки на 10 и 20%	Добавление РК не повлияло на качество. Согласно органолептической оценке продуктов, РК не изменил сенсорных свойств пасты. Степень перевариваемости снизилась
	HI-MAIZE ®260 PK-2,	замена манной крупы 10%, 20% и 50% - РК-2 и 10%, 20%	Не оказали значительного влияния на потери при варке, текстуру и сенсорные свойства. Снизили степень перевариваемости. Выявлен

# НЕ ПУТАТЬ!!! АРБИТРАЖНЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДИЕТИЧЕСКОЙ КЛЕТЧАТКИ АОАС 991.43



Барри В. МакКлиари  
Профессор, д-р с.-х. наук  
Ирландия

АОАС 991.43 позволяет определить массовую долю общей клетчатки, пищевые волокна, растворимые в воде, но нерастворимые в 78% водном этаноле = высокомолекулярные растворимые пищевые волокна (SDF) и нерастворимые пищевые волокна (IDF).

**ВРЕМЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ  
8-8,5 ЧАСОВ (ИЗ-ЗА ЗОЛЫ)**

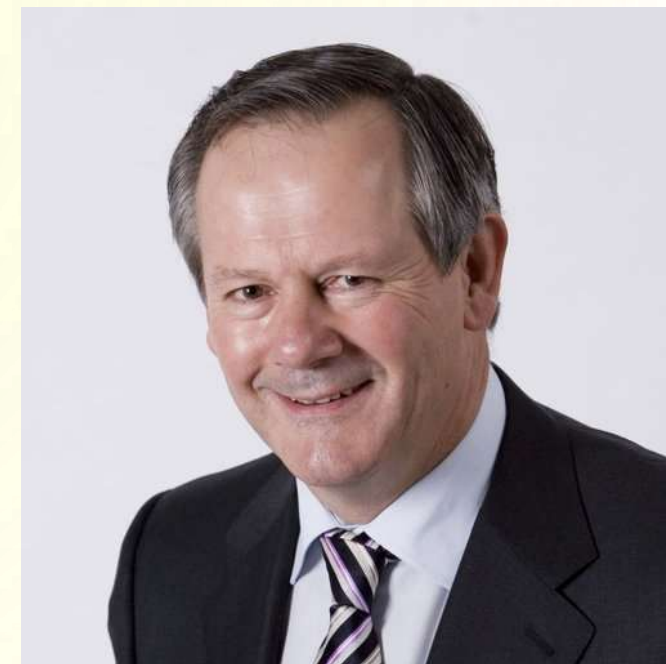
Термин «диетическая клетчатка» был введен Hipsley в 1953 году – неперевариваемые части (вещества) растения, составляющие клеточную стенку растений, в том числе целлюлоза, гемицеллюлоза и лигнин. Это определение было расширено Trowell et al. в 1972 году и усовершенствовано в 1976 году, а теперь оно основывается на неперевариваемости и устойчивости к пищеварению в тонком кишечнике человека и включает неперевариваемые полисахариды, такие как смолы, целлюлоза, слизи и пектин, резистентный

# НЕ ПУТАТЬ!!! АРБИТРАЖНЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТЕПЕНИ РЕЗИСТЕНТНОСТИ КРАХМАЛОВ И КРАХМАЛОПРОДУКТОВ АОАС 2002.02

Методика	АОАС 2002.02 (Megazyme RS, ред. 2019)
Ферменты	Панкреатин+АМГ
Время инкубации образцов	16 ч при 37°C
Масса образца	100±5 мг
Метод определения	По глюкозе в негидролизованной фракции - в осадке. Осадок растворяется 2 М КОН, Спектрометрически



1. панкреатическая  $\alpha$ -амилаза,
2. амилоглюкозидаза,
3. буферный раствор
4. (GPOD-р-гидробензойная кислота+азид натрия), глюкооксидаза+пероксидаза+4-аминоантиперин,
5. D-глюкозы стандартный раствор,
6. контрольный раствор РК



Барри В. МакКлиари  
Профессор, д-р с.-х. наук  
Ирландия

**ВРЕМЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ 16,5 ЧАСОВ**



## 6.2. Применение РК в хлебопекарной промышленности

**Норма потребления хлеба – 90 г в сутки (113 г/сут для мужчин, 76 г/сут для женщин)**

**или 32,85 кг/год на чел.**

**Рекорд за 2019 г. – Ингушетия – 187,9 кг/год на чел.**

**Москва – 81,6 кг/год на чел.**

**Мурманск 71,5 кг/год на чел.**

Хлеб – пшеничная мука+РК (40+60% смеси ВАК+изомилаза+пальмитиновая кислота), за контроль – белый хлеб из пшеничной муки без добавок (100% ПП реакция).

Снижение ПП реакции до 55% - 1400 мг/л глюкозы и 43% - 1000 ед/л инсулина.

Пшеничная мука+ВАК – 85+15%, не приводит к снижению органолептических и физико-химических показателей хлеба. Содержание пищевых волокон при этом составляет около 9 г на 100 г продукта, значит, при потреблении 300 г хлеба покрывается их суточная потребность (25-40 г/сут.)

### РК и ГИ в продуктах питания

Продукт питания	РК, г/100 г	Гликемический индекс
Зерновые и крупяные продукты		
Гречневая крупа	1,8	51
Хлеб (белый)	1.2	69
Хлеб (цельный)	1.0	72
Просо	1,7	71
Рис (коричневый)	1,7	66
Рис (белый)	1.2	72
Спагетти	1.4	42
Спагетти (белые)	1.1	50
Хлопья на завтрак		
Кукурузные хлопья	3.2	80
Мюсли	3.3	66
Овсяные хлопья	0,2	49
Пшеничные хлопья	1.2	67
Овощи		
Бобы	1.2	79
Картофель (белый)	1.3	80
Картофель (выс.крахмалистый)	0,7	48
Сладкая кукуруза	0,3	59
Сладкий картофель	1.5	1.5
Бобовые		
Фасоль (запеченная)	1.2	40
Фасоль	2.0	29
Горох	2,6	36
Чечевица	3,4	29



Сюзанна Хендрич  
д-р биол. наук,  
кафедра пищевых наук и  
питания человека  
Университет штата Айова  
Эймс, США



Дубцов Георгий  
Георгиевич  
д-р техн. наук,  
профессор МГУПП



# МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

- **массовые доли легкоперевариваемого (DS), медленно перевариваемого (SDS) крахмалов и гликемический индекс in vitro (ГИ)** – расчетным методом, по массовым долям глюкозы: в пробе 1 – DS, в пробе 2 – SDS, сумма DS и SDS – ГИ.
- **массовая доля амилозы** – йодометрическим методом по ГОСТ ISO 6647-1–2015.
- **сухое вещество, pH** – по ГОСТ 7698–93.
- **массовая доля влаги образцов** – на весовом влагомере марки MF–50 (фирма AND, Япония).
- **степень замещения КМК** по методу, размещенному в ТУ 9187-030-00334735–97 «Густамил».
- **температурный режим** – термостат марки «LB–216» (водяной, с автоматическим регулированием температуры, обеспечивающий постоянство температуры до 0,1°C);
- **динамическая вязкость** – вискозиметр Гепплера (РД 50-366-82);
- **растворимость в холодной и горячей воде (5%)** – органолептически.
- **математическая обработка** – STATISTICA 10, пакет анализа MO Excel 365 (критерий наименьшей существенной разницы (НСР) при уровне значимости  $\alpha = 0,05$ ).
- **построение уравнений реакций** – программа CHEMWINDOW 6.0.

## Сравнительная таблица физико-химических и реологических свойств химических модификаций горохового крахмала

Крахмалы	RS (CP), % HCP <sub>0,05</sub> = 1,9 %	Динамическая вязкость по Гепплеру, мПа*с и концентрация клеястера	Растворимость в воде (органолептически)	pH (ГОСТ 7698-93)	Устойчивость к термоокислению (лит. данные)	Стоимость, руб/кг (агросервер.ру)
Нативный	19,1	124,4 4 %	Хорошо растворим в горячей воде	6,5	~120 °C	~75-100
Ацетатный	15,5	40 6 %	Хорошо растворим в горячей воде	6,0	~150 °C	~100-160
Окисленный	13,0	35 с 8 %	Хорошо растворим в горячей воде	6,0	~150 °C	~100-160
Фосфатный ТМФ	14,9	36,63 4 %	Хорошо растворим в горячей воде	7,5	~150 °C	~100-160
Фосфатный Полифан	12,5	16 4 %	Хорошо растворим в горячей воде	7,5	~150 °C	~100-160
ТМФ +карбамид	19,3	10 4 %	Хорошо растворим в горячей воде	7,0	~150 °C	~100-160
Полифан +карбамид	15,3	12 4 %	Хорошо растворим в горячей воде	7,0	~150 °C	~100-160
КМК	74,0	3785,84 2 %	Хорошо растворим в холодной воде	7,0	Выше 150 °C	~180-280

## Сравнительная таблица физико-химических и реологических свойств крахмалов

Показатели	Исходный	PK-4 КМК	PK-2 FiberFinn	PK-2 Realife
СР (RS) по методике ВНИИК, % НСР <sub>0,05</sub> = 2,1 %	19,1	74,0	26,6	21,5
Динамическая вязкость по Гепплеру, мПа*с и % клейстера	124,4 4 %	3785,84 2 %	12,8 4 %	10,2 4 %
Растворимость в воде (органолептически)	Хорошо растворим в горячей воде	Хорошо растворим в холодной воде	Плохо растворим в горячей воде (выпадает в осадок)	Плохо растворим в горячей воде (выпадает в осадок)
рН (ГОСТ 7698-93)	6,5	7,0	6,3	6,3
Устойчивость к термоокислению (лит. данные)	~120 °С	Выше 150 °С	~120 °С	~120 °С
Стоимость, руб/кг (агросервер.ру)	~75-100	~180-280	~2000	???

СЗ = 0,014 моль/моль  
по ТУ «Густамил»,  
титрометрически

## 5. Методики определения степени резистентности

1842 год – первое упоминание устойчивого крахмала в работе «Наблюдение за волокном» д-ра мед. наук Мартина Барри, Англия.

1890 год – «Естественное и искусственное пищеварение» д-ра мед. наук Шеридан Ли.

1941-1950 годы – фракционирование крахмала – Лампитт Л.-Х., Фуллер Ч.-Ф., Гольденберг Н., Англия.

1985 год – Первая обоснованная методика определения резистентности крахмалов под авторством профессора Кембриджа Инглиста Х.Н.

2002 год – Методика АОАС 2002.02. - арбитражный метод определения РК.

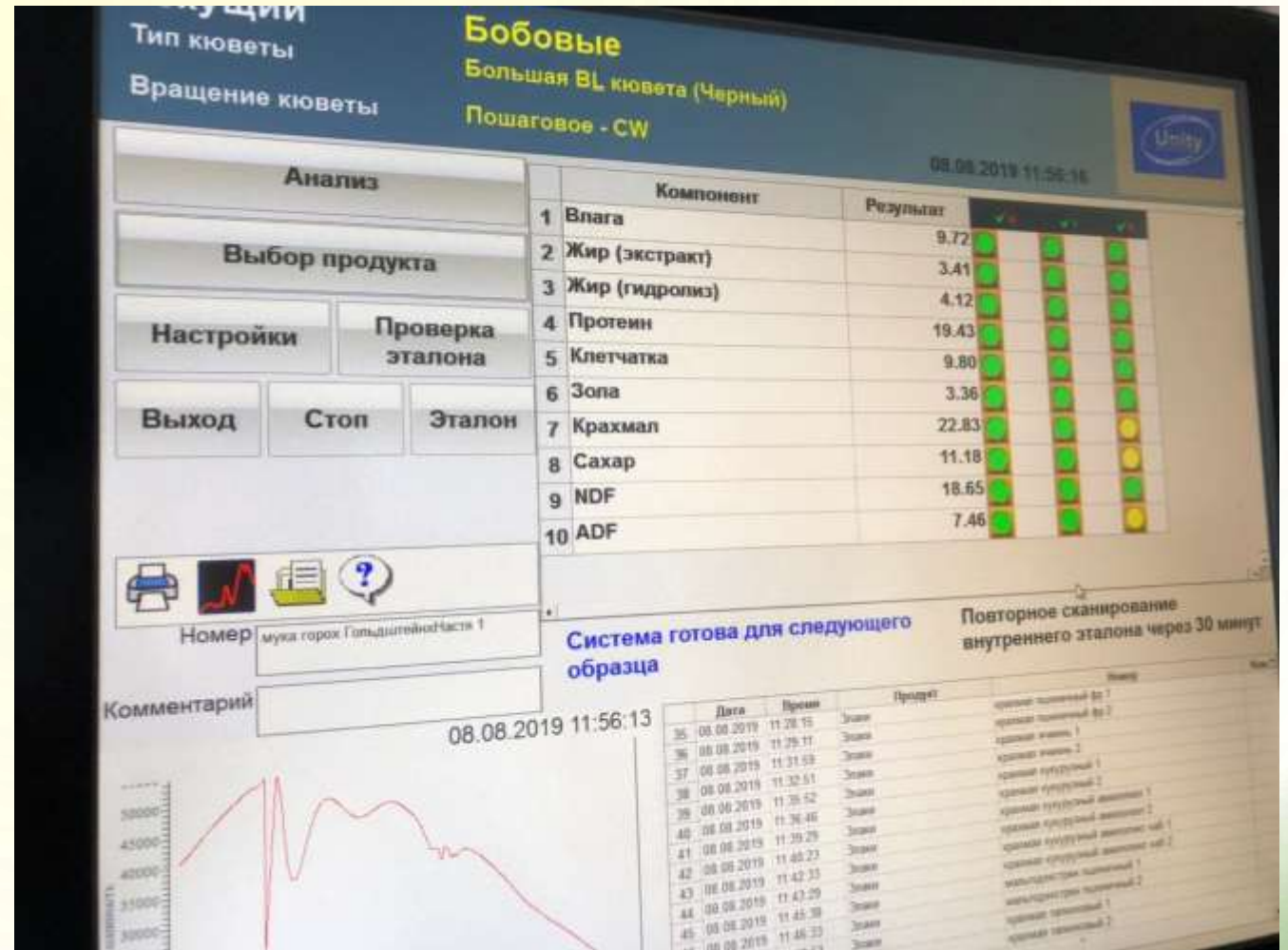
**Среди ученых, изучающих РК, происходит деление на школы по способам их определения.**

Методы *in vitro*:

- 1) гравиметрические – Шведская школа;
- 2) спектрофотометрические – Ирландская (арбитражный АОАС 2002.02.), Английская, Испанская, Китайская;
- 3) хроматографические – Российская;

и *in vivo*: Ирландская (люди с илеостомией, выдыхаемый  $H_2$ ).

## 5. Методики определения степени резистентности



ИК-спектрометр Spectra Star XL ( ВНИИ агрохимии, агрохимцентр «Московский»)

## 5. Методики определения степени резистентности

Химический состав анализируемых "новых" импортных крахмалопродуктов (ИК-спектрометрия)

Наименование	Влага, %	Жир экстрагируемый, %	Жир гидролизуемый, %	Белок, %	Клетчатка, %	Зола, %	Крахмал, %	Сахар, %	НДК, %	КДК, %	Сумма
PK Realife пшеничный	6,6	0,15	0,68	6,10	2,16	1,19	85,54	0,43	5,51	0,11	108,47
Диабетическая мука Realife	11,35	0,77	1,54	9,70	0,47	0,89	57,14	1,39	3,55	1,41	88,21
Fiber Fin кукурузный	10,1	2,87	3,75	4,01	0,49	0,81	57,57	0,93	10,25	8,22	99

\*НДК (нейтрально-детергентная клетчатка) – это остаток навески пищи после экстракции и кипячения в нейтральном растворе лаурилсульфата натрия и этилендиаминотетрауксусной кислоты (ЭДТА), с получением лигнина, целлюлозы, гемицеллюлозы и НД нерастворимого сырого белка.

\*КДК (кислотно-детергентная клетчатка) – это остаток после многократной промывки навески НДК кислотно-детергентным раствором 0,5 М H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> и цетилтриметиламмоний бромида (ЦТАБ/СТАВ), с получением целлюлозы, лигнина, кутина и КД нерастворимого сырого белка.

# The chemical composition of the analyzed starches and starch products (IR-spectrometry)

<b>Starch</b>	<b>Fats extra, %</b>	<b>Fats hydr., %</b>	<b>Protein, %</b>	<b>Fibre, %</b>	<b>Ash, %</b>	<b>Starch, %</b>	<b>Sucrose, %</b>	<b>NDF, %</b>	<b>ADF, %</b>
<b>Potato amylopectin</b>	0,79	0,67	0,55	6,57	3,04	92,11	4,72	1,21	3,23
<b>Potato</b>	1,81	0,18	0,97	6,2	2,58	91,95	5,7	0,99	2,1
<b>Pea</b>	0,34	0,29	4,85	0,88	1,11	87,60	0,08	6,17	0,50
<b>Corn</b>	1,59	2,28	4,50	0,41	0,52	65,38	1,79	2,87	2,24
<b>Triticale</b>	1,33	1,9	2,6	0,11	0,53	62,66	0,73	11,72	4,89
<b>Rye</b>	0,8	1,53	7,15	0,18	0,77	58,88	0,56	3,09	0,9
<b>Wheat</b>	1,57	2,2	0,79	0,35	0,48	67,39	0,56	1,35	1,14
<b>RS Realife</b>	0,15	0,68	6,10	2,16	1,19	85,54	0,43	5,51	0,11
<b>Diabetic flour Realife</b>	0,77	1,54	9,70	0,47	0,89	57,14	1,39	3,55	1,41
<b>Fiber Fin</b>	2,87	3,75	4,01	0,49	0,81	57,57	0,93	10,25	8,22

Determined by IR spectrometry on the spectrometer SpectraStar XL

# БЛАГОДАРЮ ЗА ВАШЕ ВНИМАНИЕ!

Хотелось бы выразить благодарность научным руководителям Николаю Дмитриевичу Лукину, Евгении Кузьминичне Коптеловой, научным сотрудникам Калининой Тамаре Григорьевне, Зинаиде Михайловне Бородиной, Владимиру Георгиевичу Гольдштейну, Папахину Александру Алексеевичу, Ларисе Владимировне Адикаевой, Лилии Петровне Носовской, Евгении Владимировне Голионко, Владимиру Георгиевичу Костенко, Аслану Сергеевичу Сарджвладзе, Татьяне Николаевне Шугаевой, Петру Юрьевичу Варитцеву, Василию Аркадьевичу Бызову, Борису Копыльцову, Марине Леонидовне Соколовой, Оксане Михайловне Карасевой, Дание Мустафиевне Пихало, Лидии Степановне Соломиной, Дмитрию Анатольевичу Соломину, Ивану Сергеевичу Усачеву, Светлане Тарасовне Быковой, всем остальным сотрудникам ВНИИ крахмалопродуктов и маме!



**ВНИИК – ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН**

140051, Russian Federation, Moscow Region, v. Kraskovo, st. Nekrasova, 11;

[www.arrisp.ru](http://www.arrisp.ru); e-mail: [info@arrisp.ru](mailto:info@arrisp.ru); +7 (495) 5571500