



## СТРУКТУРНО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТЕСТА С САХАРОМ И САХАРОЗАМЕНИТЕЛЯМИ

Дробот В.И. д.т.н., проф., Мисечко Н.А. асп., Бондаренко Ю.В. асист.  
*Национальный университет пищевых технологий*

## STRUCTURAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF DOUGH WITH SUGAR AND SWEETENERS

**Drobot V. d.t.n., professor, Misechko N. post-graduate, Bondarenko J. assistant**  
*National University of Food Technologies*

### **Abstract**

*In the materials paper considers the use of fructose and lactulose in the production of bakery products for the expansion of the range of diabetic products. The effect of fructose and lactulose on the process of fermentation in the dough, forming its structural and mechanical properties and quality of finished products compared with sucrose.*

**Keywords:** *bakery, diabetes, sweeteners, fructose, lactulose, fermentation, gluten, viscosity.*

### **Введение**

Сегодня неоспоримым является тот факт, что одним из распространенных заболеваний, сокращающих продолжительность жизни человека, является сахарный диабет. В лечении этого заболевания важное место занимает диетотерапия, которая предусматривает ограничение или исключение потребления сахара. Для подслащивания изделий применяют интенсивные подсластители или сахарозаменители [1].

В качестве сахарозаменителей используют в основном спирты-полиолы - сорбитол, ксилитол, лактитол и др. Однако эти сахарозаменители не сбраживаются дрожжами, что отрицательно влияет на процессы приготовления и созревания теста, его структурно-механические свойства, качество изделий. Замена ими сахара снижает объем хлеба, ухудшается окрас его поверхности, а также вкус и аромат.

В последнее время в качестве сахарозаменителя используется моносахарид фруктоза.

Усвоение фруктозы не требует инсулина. Фруктоза заметно не влияет на уровень сахара в крови, ее гликемический индекс составляет – 20, тогда как сахарозы – 60. Фруктоза имеет сладость 1,7 в сравнении с сахарозой и лучшую растворимость в воде (при 30 °С растворимость

фруктозы 84,34 г, сахарозы – 70,42 г). Хлебопекарные дрожжи сбраживают фруктозу после изомеризации ее ферментом изофруктофуранозидазой в глюкозу. Этот моносахарид активно участвует в реакции меланоидинообразования. Рекомендованное суточное потребление фруктозы при диабете 0,5-1,0 г на 1 кг массы тела, калорийность фруктозы 3,7 ккал/г [2].

Сопутствующим заболеванием при сахарном диабете часто наблюдается дисбактериоз.

По заключению ФАО/ВОЗ эффективным средством при дисбактериозе признан изомер лактозы – лактулоза (4-О-β-Д-галактопиранозил-Д – фруктоза).

Лактулоза является дисахаридом состоящим из галактозы и лактозы, связанных между собой β-гликозидной связью. Лактулоза имеет сладкий вкус, по сладости аналогична сорбиту (0,48-0,62 относительно сахарозы), лучше чем сахар растворяется в воде (при 30 °С – 76,4 г), не сбраживается дрожжами, при нагревании восстанавливает раствор фелинга [4], не вызывает гипергликемии крови, гликемический индекс ее составляет около 3. Лактулоза метаболизируется в толстом кишечнике, обуславливая накопление в нем органических кислот, в результате чего подавляется развитие патогенной и гнилостной микрофлоры.

В профилактических целях рекомендуется потребление лактулозы в количестве 3-10 г в сутки [3, 4].

Учитывая низкую сладость и бифидогенные свойства лактулозы, а также повышенную сладость фруктозы, очевидным является использование их композиции взамен сахара в производстве диетических функциональных изделий нового поколения со сниженным гликемическим индексом и пребиотическими свойствами. Такие изделия могут употреблять люди как больные диабетом, так и здоровые, следящие за своим здоровьем.

В технологии хлебопечения сахар, как сырье, не только влияет на вкусовые свойства, но принимает участие в формировании структурно-механических свойств теста и готовых изделий.

Известно, что вследствие гидратирующей способности сахара, водопоглатительная способность теста уменьшается, оно разжижается, увеличивается адгезия, снижается его газо- и формоудерживающая способности.

Фруктоза и лактулоза имеют отличительные по сравнению с сахарозой характеристики, поэтому было целесообразно исследовать влияние этих сахарозаменителей на структурно-механические свойства теста и качество готовых изделий.

## Материалы и методы

В работе использовали муку пшеничную первого сорта (Украина, ГСТУ 46.004-99), сахар белый кристаллический (Украина, ДСТУ 4623:2006), лактулозу кристаллическую (Италия, сертификат № 3093244), фруктозу (Украина, ТУ У 15.6 – 32062796 – 010:2007). Тесто готовили безопасным способом с внесением 6 % к массе муки сахара, фруктозы, лактулозы, а также композиции из 3 % фруктозы и 3 % лактулозы. Замес теста производили в лабораторной тестомесильной машине ЛТ-900, упруго-эластичные свойства теста определяли с помощью пенетрометра АР-4/1, вязко-пластические - на ротационном вискозиметре Реотесте-2. Газоудерживающую способность теста определяли по изменению его удельного объема относительно массы теста, формоудерживающую способность тестовых заготовок по расплыванию шарика теста, удельный объем, формоустойчивость хлеба – методами, описанными в источнике [5].

## Результаты и обсуждение

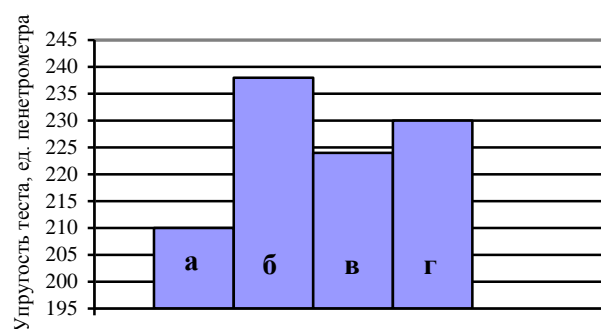
Структуру теста формирует клейковина, образованная белками муки. Ее количество и

качество существенно влияет на упругость, вязкость, эластичность теста, его газо- и формоудерживающую способности.

Проведенными исследованиями установлено, что вследствие более высокой, по сравнению с сахарозой, растворимостью исследуемых сахарозаменителей, увеличивается гидратация и сжимаемость клейковины, уменьшается ее упругость. При этом в образцах теста с сахарозаменителями отмывается меньшее количество клейковины. Очевидно, это объясняется образованием комплексов сахарозаменителей с белками, часть которых не отмывается в виде клейковины и в большей мере в образцах с фруктозой. Уменьшение упругости клейковины сказывается на снижении упругости теста, о чем свидетельствуют данные полученные с помощью пенетрометра (фиг. 1). Однако эластичность теста при этом улучшается, обуславливая повышение его удельного объема (фиг. 2).

Эластичность теста способствует образованию пеноподобной структуры теста, что позитивно влияет на формирование его объема, а также объема и пористости готовых изделий.

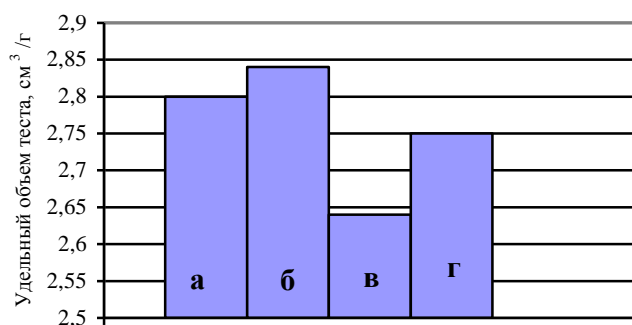
Большая эластичность теста с сахарозаменителями, нежели с сахаром, объясняется лучшей растворимостью и меньшей молекулярной массой фруктозы, что способствует более легкому проникновению ее растворов в структуру белковой молекулы.



**Фиг. 1. Упругость теста: а – с сахаром, б – с фруктозой, в – с лактулозой, г – с фруктозой и лактулозой**

При этом образуется достаточно эластичный клейковинный каркас, который обуславливает формирование объема готовых изделий. Так установлено, что удельный объем теста с фруктозой на 7,5 % превышает удельный объем теста с сахарозой, в то время как в образце с лактулозой меньше на 5,8 % вследствие того, что лактулоза не сбраживается хлебопекарными дрожжами. При совместном использовании

фруктозы и лактулозы эта разница составляет 3 %.



**Фиг. 2. Удельный объем теста: а – с сахаром, б – с фруктозой, в – с лактулозой, г – с фруктозой и лактулозой**

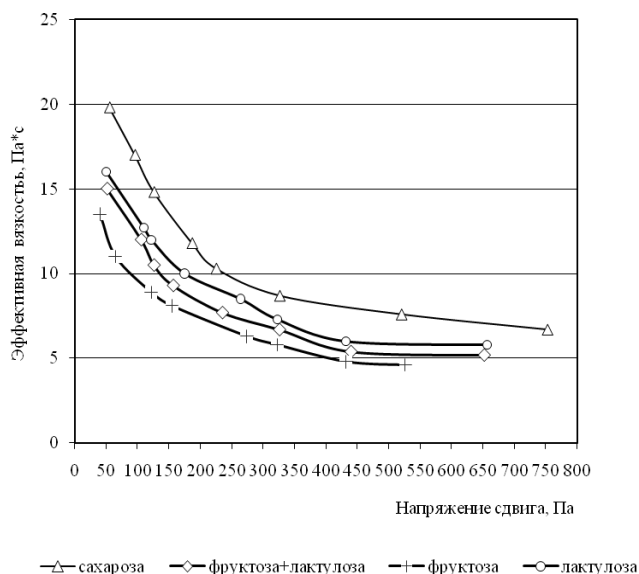
Характерным показателем структурно-механических свойств теста является его вязкость. Чрезмерная вязкость тестовой системы препятствует образованию разрыхленного мякиша хлеба, низкая обуславливает разрушение стенок пор, образование крупной пористости.

Известно, что сахар, имея высокие гидрофильные свойства, пластифицирует структуру теста, благодаря чему в структуре белков образуются прослойки его концентрированных растворов, что снижает внутреннее трение системы, вследствие этого уменьшается его вязкость, увеличивается пластичность [6].

Влияние фруктозы, лактулозы и их смеси на вязкость теста исследовали с помощью ротационного вискозиметра «Реотест - 2». Определяли изменение эффективной вязкости отдельных систем, содержащих 6 % фруктозы, лактулозы и их смеси по 3 % каждой в сравнении с адекватным количеством сахара, в зависимости от напряжения сдвига.

Установлено (фиг. 3), что в результате замены сахара фруктозой вязкость системы уменьшается на 14,9 %, лактулозой – на 9,6 %, а их смесью – на 11,5%. Такую закономерность можно объяснить разной растворимостью исследуемых сахарозаменителей и сахарозы,

вследствие чего в тесте с сахарозаменителями образуется большее количество жидкой фазы. Эта закономерность сохраняется и после 120 мин ферментации системы (табл. 1). Однако в случае использовании лактулозы наблюдается наименьшее разжижение системы, очевидно вследствие угнетающего влияния лактулозы на активность ферментов муки. Отмечено, что незначительное повышение разжижения полуфабрикатов с сахарозаменителями существенно не влияет на формоустойчивость изделий.



**Фиг. 3. Реологические кривые вязкости модельных тестовых систем**

Не прямой характеристикой вязкости также является степень расплывания шарика теста в процессе брожения, вызванного смещением слоев теста вследствие внутреннего трения системы. Этот показатель достаточно убедительно прогнозирует формоустойчивость тестовых заготовок в период расстойки и выпечки.

Установлено, что по сравнению с тестом с сахаром, тесто с фруктозой за 3 часа ферментации расплывается больше на 3 %, с лактулозой - на 1,8 %, а с их смесью - на 2,5 %, что существенно не влияет на объем и

Таблица 1

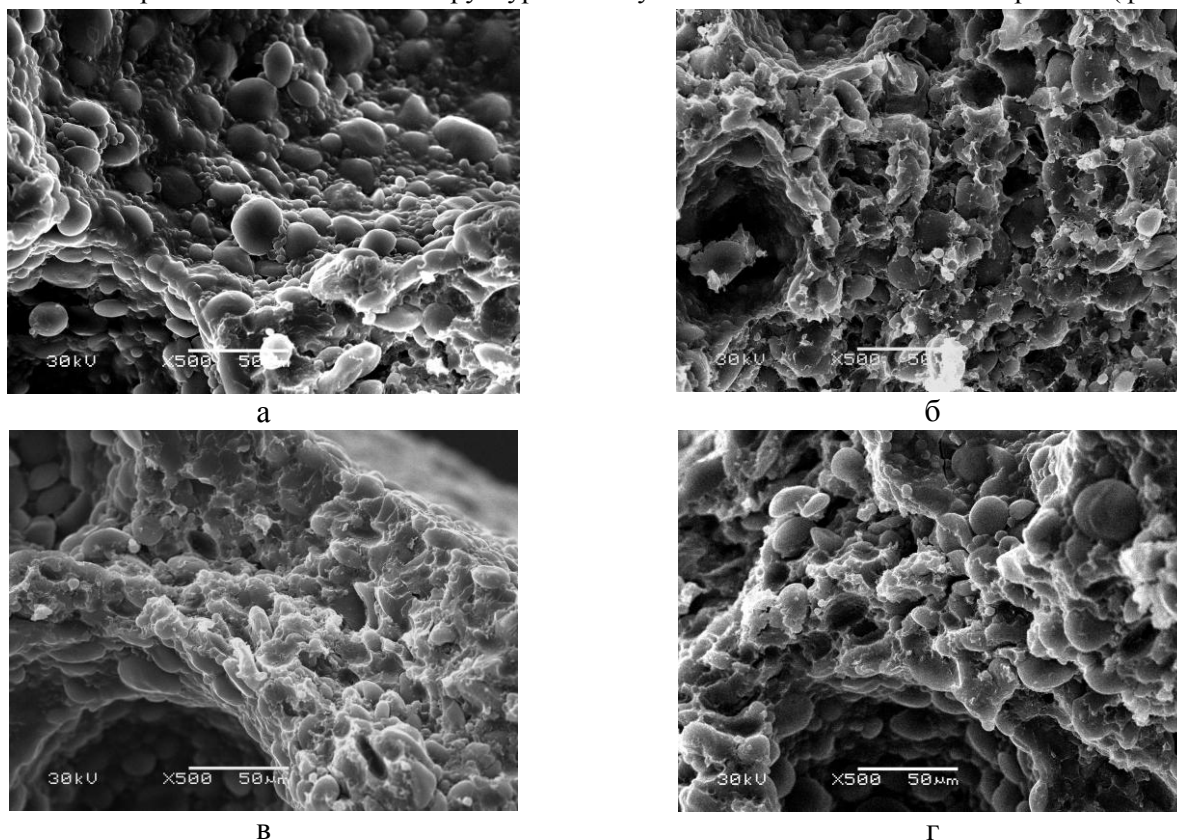
Вязкость модельных тестовых систем

Показатели	Внесено, % к массе муки			
	Сахар - 6	Фруктоза - 6	Лактулоза - 6	Фруктоза – 3 Лактулоза - 3
Эффективная вязкость, Па·с.:				
через 20 мин после замеса	16,8	14,3	15,2	14,8
через 120 мин ферментации	10,5	9,4	10,4	9,9
Коэффициент разжижения	33,6	34,3	31,6	33,2

формоустойчивость изделий, содержащих сахарозаменители.

С целью более глубокого изучения влияния сахарозаменителей на структурно-

механические свойства теста исследовали его микроструктуру с помощью сканирующего микроскопа JSM-6060LA фирмы “JEOL” при увеличении в 500 раз (фиг. 4).



**Фиг. 4. Микроструктура теста: а – с сахаром, б – с фруктозой, в – с лактулозой, г – с фруктозой и лактулозой**

В процессе изучения микрофотографий теста установлено, что в образце с сахаром присутствуют крупные и мелкие гранулы крахмала, связанные между собой клейковинным белком. В тесте с фруктозой наблюдается уменьшение плотности клейковинного каркаса, и зерна крахмала в большей мере покрыты белковой пленкой, что свидетельствует о расслаблении клейковины.

Аналогичная закономерность наблюдается и в образцах с лактулозой, а также смесью лактулозы и фруктозы, очевидно вследствие улучшения эластичности клейковины, определенную роль в этом играет образование комплексов белков с сахарами. Улучшение эластичности клейковины способствует получению изделий с хорошим объемом, пористостью и формоустойчивостью (табл.2).

Таблица 2

Качество изделий с сахаром и сахарозаменителями

Показатели	Внесено, % к массе муки			
	Сахар - 6	Фруктоза - 6	Лактулоза - 6	Фруктоза - 3 Лактулоза - 3
Удельный объем хлеба, см <sup>3</sup> /г	3,32	3,28	2,80	3,10
Пористость, %	77	76	72	75
Формоустойчивость, Н/Д	0,39	0,38	0,36	0,37

### Заклучение

Проведенные исследования влияния фруктозы, лактулозы и их смеси на структурно-механические свойства теста показали, что использование этих сахаров в качестве сахарозаменителей обеспечивает качество изделий и является перспективным приемом расширения ассортимента лечебно-профилактических изделий для больных диабетом, а также для широкого круга потребителей.

### Литература

[1] Цукровий діабет / За редакцією М.В. Рішка. – Ужгород: Ліра, 2006. – 88 с.



[2] Пищевая химия / под ред. А.П. Нечаева. – СПб.: ГИОРД, 2001. – 570 с.

[3] Рябцева С.А. Технология лактулозы / С.А. Рябцева. – М.: ДеЛи принт, 2003. – 207 с.

[4] Леонов В.Ю. Лактулоза: диапазон использования в пищевой промышленности / В.Ю. Леонов // Кондитерское и хлебопекарное производство. – 2011. – № 10. – С. 34–35.

[5] Лабораторний практикум з технології хлібопекарського та макаронного виробництв / за ред. В.І. Дробот. – К.: Центр навч. літ-ри, 2006. – 341 с.

[6] Николаев Б. А. Структурно-механические свойства мучного теста / Б. А. Николаев. – М. : Пищевая промышленность, 1976. – 247 с.