

5. Nagao, T. Reproductive effects in male and female rats of neonatal exposure to genistein [Text] / Nagao, T.; Yoshimura, S.; Saito, Y.; Nakagomi, M.; Usami, K.; Ono, H. // *Reprod. Toxicol.* 200, 15, 399-411.
6. William, H. Tolleson. Metabolism of Biochanin A and Formononetin by Human Liver Microsomes in Vitro [Text] / William H. Tolleson, Daniel R. Doerge, Mona I. Churchwell, M. Matilde Marques and Dean W. Roberts. // *J. Agric. Food Chem.* 2002, 50, 4783-4790 4783
7. Mu H, Bai YH, Wang ST, Zhu ZM, Zhang YW. Research on antioxidant effects and estrogenic effect of formononetin from *Trifolium pratense* (red clover). *Phytomedicine.* 2009. – 6(4):314-9.
8. Юлдашев М.П. Кумариновые и флавоноловые гликозиды *HAPLOPHYLLUM PERFORATUM* (M.B.) KAR. ET *KIR* и *FERULA VARIA* (SCHRENK) TRAUTV. – Авт. дис. на соиск. учен. степ. канд. хим. наук, Ташкент, 1988. – 21 с.

УДК 664.143:66.081

**ДОРОХОВИЧ А.М.** д-р. техн. наук, професор, **ДОРОХОВИЧ В.В.** д-р. техн. наук, професор,  
**БАДРУК В.В.** аспірант, **МУРЗИН А.В.** аспірант, **АБРАМОВА А.Г.** магістр, **ЄСТРЕМСЬКА Я.С.** магістр  
Національний університет харчових технологій, м. Київ

## **ФІЗИКО-ХІМІЧНІ, ТЕХНОЛОГІЧНІ, ФІЗІОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ПОЛІОЛІВ ТА ЦУКРІВ**

Досліджено властивості цукрів та поліолів з точки зору доцільності та можливості їх використання при виробництві кондитерських виробів функціонального і дієтичного призначення. Поліоли мають переваги в порівнянні з цукрами: нижчу калорійність і глікемічний індекс, виконують роль фізіологічно-функціонального інгредієнта, тому що володіють пребіотичним ефектом. Проведено порівняння основних властивостей цукрів та поліолів: солодкість, розчинність, калорійність, температура плавлення, глікемічний індекс, теплота розчинення. Визначено поверхневий натяг розчинів різної концентрації, а також піноутворюючу здатність систем меланж-цукори і меланж-поліоли. Досліджено сорбційні властивості цукрів та поліолів. Встановлено, що з цукрів тільки фруктоза, а з поліолів тільки сорбітол поглинають вологу при  $\varphi=70-75\%$ , інші практично не гігроскопічні.

**Ключові слова:** кондитерські виробы, цукор, поліоли, пребіотики, глікемічний індекс, сорбція.

The properties of sugars and polyols in terms of feasibility and possibility of their use in the manufacture of functional confectionery products and dietary purposes. Polyols have advantages in comparison with sugar and calories lower glycemic index, serves as a physiologically functional ingredient because it have effect of prebiotics. Determined and compared the basic properties of sugars and polyols: sweetness, solubility, caloric content, melting temperature, glycemic index, heat of dissolution, the surface tension of solutions of different concentrations, and blowing systems ability egg-and egg-sugar polyols. Determined the sorption properties of sugars and polyols. Found that only sugars fructose and sorbitol with polyols only absorb moisture when  $\varphi = 70-75\%$ , virtually no other hygroscopic.

**Keywords:** confectionery, sugar, polyols, prebiotic, glycemic index, sorption

Основною сировиною кондитерських виробів, яка забезпечує солодкий смак, є цукри та цукрозамінники. На теперішній час існує велика кількість цукрозамінників. Однак інформації щодо фізико-хімічних та технологічних властивостей цукрозамінників недостатньо для прогнозування їх впливу на якісні характеристики кондитерських виробів. Тому метою нашої роботи було визначення низки технологічних властивостей цукрозамінників, що дасть можливість раціонального ведення технологічного процесу та отримання кондитерських виробів високої якості.

Експерти Продовольчої і сільськогосподарської організації ООН (FAO) і Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ) вважають, що термін "цукри" притаманний всім моно- та дисахаридам [1]. Цукрозамінники - це речовини природного походження, котрі, як і цукри, мають солодкий смак і приймають участь у створенні різноманітних структур кондитерських виробів: аморфної структури карамелі, драгледоподібної структури мармеладу, піноподібної структури зефіру, пастили, маршмелоу, дрібнокристалічної структури шоколаду і т.д. "Цукрозамінники", "цукроспирти", "гідрогенізовані вуглеводи", "поліоли" – це синоніми одного підкласу похідних вуглеводів. Назва "поліол" – скорочення англійського

"polyalcohol" (поліспирт) є найбільш вживаним терміном цього класу цукрозамінників. Згідно номенклатури IUPAC при використанні поліолів рекомендується вживати суфікс – "ітол": сорбіт – сорбітол, лактат – лактітол, мальгіт – мальгітол. Ця термінологія буде використовуватись в даній роботі [2].

Поліоли мають солодкий смак, але солодкість їх значно менша, ніж солодкість сахарози, солодкість якої є еталоном і дорівнює 1,0. На відміну від моно- та дисахаридів, поліоли не мають відновних властивостей, тобто вони не зазнають реакції Майяра, стійкі до зміни рН середовища і підвищення температури, не підлягають карамелізації та ферментативному розкладу. Калорійність поліолів значно менша, ніж калорійність цукрів. В Євросоюзі прийнято, що калорійність у всіх поліолів однакова і складає 2,4 ккал/г [3,4]. У США та Японії на основі клінічних досліджень було визначено калорійність кожного поліолу [5] (табл.1).

За оцінкою експертів ВООЗ до 2020 року 2/3 усіх захворювань будуть складати хронічні захворювання, такі як ожиріння, цукровий діабет, серцево-судинна патологія та ін. Крім того, у значній частині населення України є надлишкова вага тіла, яка при недотриманні раціонального харчування, постійному надлишковому споживанні висококалорійних харчових продуктів може перетворитись в захворювання – ожиріння. Надлишкову масу тіла мають не тільки дорослі, а і діти. Тому розроблення харчових продуктів, у т. ч. кондитерських виробів, із зниженою калорійністю є актуальним завданням, яке потребує негайного вирішення.

Існують вимоги до статусу харчових продуктів "із зменшеною калорійністю", але в різних країнах вони різні. В Німеччині, Іспанії статусу "із зменшеною калорійністю" заслуговує продукт, калорійність якого на 30 % менша відносно подібного продукту, виготовленого за стандартною рецептурою; в Швеції та Великобританії на 25%; у Франції, Нідерландах – на 33 %. У США існують продукти з маркуванням "light" (з англ. – "легкий"), якщо калорійність продукту зменшена на 33 %. В Японії прийнято маркувати продукти "безкалорійні" та "низькокалорійні". "Безкалорійні" продукти – це продукти, калорійність 100г (або в 100мл) яких складає менше 5 ккал.

Враховуючи калорійність поліолів, харчові продукти, які виготовлені на їх основі, а це в першу чергу відноситься до кондитерських виробів, можуть мати маркування "із зменшеною калорійністю" або "з

Таблиця 1  
Калорійність поліолів

Поліоли	Калорійність, ккал/г	
	США	Японія
Сорбітол	2,6	3,0
Ксилітол	2,4	3,0
Мальтітол	3,0	2,0
Ізомальтітол	2,0	2,0
Лактітол	2,0	2,0
Манітол	1,6	2,0

редукованою калорійністю". Крім того, часткова або повна заміна моно- та дисахаридів на поліоли забезпечують харчовим продуктам маркування "із зниженим вмістом цукру" або "без цукру". В таблиці 2 наведені вимоги різних країн до виробів "із зменшеним вмістом цукру".

Таблиця 2  
Вимоги різних країн до виробів "із зниженим вмістом цукру"

Країна	% дозволеної заміни моно- та дисахаридів	Маркування харчових продуктів
США	25 % та >	Вироби із зниженим вмістом цукру
Нідерланди	33 % та >	
Франція		
Німеччина	30 % та >	
Іспанія		
Велика Британія		
Швеція	25 % та >	
Японія		

Маркування "вироби без цукру" можуть мати продукти, якщо вміст цукру менше 5 % (країни ЄС), в Японії менше 0,5 %, у США менше 0,5 г цукрів у однократній порції харчового продукту, який також повинен мати маркування "із зниженою калорійністю".

Головна перевага поліолів – їх пребіотична властивість. Поліоли є визнаними біфідус факторами, вони сприяють розвитку біфідобактерій, які здійснюють

синтезують у внутрішнє середовище організму людини, синтезують амінокислоти і білки, вітамін К та вітаміни групи В, пантотенову кислоту, приймають участь у активізації мембранного травлення, що сприяє посиленню процесів всмоктування іонів калію, заліза, вітаміну Д через стінки кишечника. Крім того, біфідофлора чинить імунномодельючу дію [6]. Безумовно перевагою поліолів є їх низький глікемічний індекс (ГІ) (табл. 3). Внаслідок цього на основі поліолів можливо і доцільно виробляти харчові продукти, в першу чергу це відноситься до кондитерських виробів для хворих на цукровий діабет.

Крім позитивних властивостей, поліолам притаманні деякі негативні властивості. Споживання поліолів часто призводить до шлунково-кишкових розладів, появи діареї, здуття та інших ускладнень [6]. Для більшості людей споживання більше 20 г поліолів на добу зумовлює послаблення шлунка. Згідно з Кодексом Аліментаріус, якщо при споживанні харчового продукту людина засвоює більше 20 г поліолів, то цей продукт повинен містити маркування, що він володіє послаблюючим ефектом [7]. В Європейському Союзі харчові продукти, в яких більше 10 % складають поліоли, мають маркування "надлишкове споживання може викликати послаблюючу дію" [8]. Згідно з рекомендаціями американської дієтологічної асоціації, надлишковим вважається споживання сорбітолу > 50 г, манітолу > 20 г на добу, для таких поліолів, як лактітол, мальтітол, ізомальтітол, еритрітол не існує обмежень [9]. Безумовно, добова потреба поліолів залежить від віку, ваги, стану здоров'я людини. Люди похилого віку, хворі на цукровий діабет страждають на запори, тому обмеження використання поліолів індивідуальне і для кожної людини різне. В роботі [10, 11] наведені дані відносно толерантності організму людини до різних поліолів. Автори оцінку продуктів проводили, виходячи з того, що порція продуктів складала 70 г. Значення толерантності різних поліолів наведені в табл. 3.

Таблиця 3

## Основні властивості цукрів і поліолів

Цукри і поліоли	Солодкість, од	Розчинність, % при 20°C	Калорійність, ккал/г	Температура плавлення, °C	Глікемічний індекс, %	Теплота розчинення, кДж/кг	Толерантність організму до поліолів	
							г/100г продукту	г/добу
<b>Цукри:</b>								
сахароза	1,00	67	4,1	180	65±9	-18,0	-	-
глюкоза (α-d-глюкоза)	0,76	47	3,4	146	100	-59,4	-	-
фруктоза	1,56	78	3,7	104	20		-	-
<b>Поліоли:</b>								
сорбітол	0,60	75	2,4**/2,6	100	9±4	-110,0	< 11	< 24
лактітол	0,37	56	2,4/2,0	122	3±2	-65,0***	25	54
ізомальтітол	0,55	24,5/41,5*	2,4/2,0	142–150	9±3	-39,0	32	66
мальтітол	0,90	65	2,4/3,0	144–156	30±2	-23,0	42	87
еритрітол	0,65	37	0,5	126	0	-192,0	66	132

\* в чисельнику розчинність ізомальту St, в знаменнику ізомальту GS;

\*\* в Євросоюзі калорійність усіх поліолів прийнято вважати 2,4 ккал/г [12], в США на основі клінічних досліджень визначено калорійність різних поліолів (знаменник);

\*\*\* моногідрат лактітолу

фізіологічний захист від проникнення мікробів і ток-

Зараз у світі в найбільшій кількості виробляють

поліол сорбітол. Так, за різними оцінками, світове виробництво сорбітолу складає 500–600 тис. т за рік. Однак, незважаючи на його низьку вартість, останнім часом виробники відмовляються його використовувати як цукрозамінник при виробництві кондитерських виробів, враховуючи його дуже низьку толерантність.

На особливу увагу заслуговує поліол еритрітол. Толерантність організму людини до еритрітолу практично в 6 разів більша, ніж у сорбітолу і в 1,5–3,0 рази більша, ніж у інших поліолів. Крім того, він є дуже низькокалорійним продуктом, калорійність його складає 0,5 ккал/г, тобто практично в 5 раз менша, ніж у інших поліолів. Недоліком цього поліолу є дуже низька теплота розчинення, яка складає –192 кДж/кг, тобто в 1,7 разів менша, ніж у сорбітолу та в 3–8 разів менша, ніж у інших поліолів (табл. 3). Сильний охолоджуючий ефект затримує використання еритрітолу при виробництві кондитерських виробів. Роботи, проведені в НУХТ, показали доцільність використання суміші еритритол-фруктоза при виробництві як борошняних кондитерських виробів (БКВ): бісквіти, кекси, мафіни, пряники, печиво, так і кондитерських виробів цукристої групи: цукерки, мармелад, маршмелоу, шоколад. Найкращі результати отримані при виробництві БКВ і цукристих виробів при використанні поліолу мальтітолу. Повна заміна цукру на мальтітол не потребувала зміни рецептурного складу і технологічних параметрів виробництва, як БКВ, так і кондитерських виробів цукристої групи [2].

Однією з важливих характеристик цукрів і цукрозамінників є поверхневий натяг їх розчинів. Відомо, що поверхнева енергія, властивості поверхневого розподілу відіграють суттєву роль в таких процесах, як випаровування, випікання, сушіння, піноутворення. Під час аналітичного огляду літератури не було знайдено інформації щодо поверхневого натягу розчинів цукрозамінників, що і обумовило доцільність проведення таких досліджень.

Молекули у поверхневому шарі за своїми енергетичними властивостями відрізняються від молекул в об'ємі. Молекула в об'ємі відчуває однакове притягання оточуючих її молекул, тому рівнодіюча молекулярних сил дорівнює нулю. У молекул поверхневого шару рівнодіюча спрямована всередину об'єму фази перпендикулярно до її поверхні. Диспергування рідини призводить до утворення нової поверхні розподілу і при цьому частина молекул з об'єму переходить у поверхневий шар, тому що при диспергуванні відбувається робота, яка спрямована проти дії молекулярних сил. В результаті виникає вільноповерхнева енергія ( $F_s$ ), яка являє собою надлишок вільної енергії, яка дорівнює

$$F_s = \sigma \cdot S$$

де  $\sigma$  – вільна енергія одиниці поверхні розподілу, яка носить назву поверхневого натягу,  $S$  – площа поверхні натягу.

Цукри і поліоли мають різну структурну будову, різні фізико-хімічні властивості і тому будуть здійснювати різний вплив на величину поверхневого натягу. Існує багато методів визначення поверхневого натягу. Нами був використаний метод відриву крапель за допомогою сталагмометра. Було визначено

поверхневий натяг розчинів цукрів та поліолів концентрацією 10, 20 та 30%, при температурі 20°C (табл. 4).

Аналіз отриманих даних показує, що розчини

Таблиця 4  
Поверхневий натяг розчинів цукрів і поліолів

Розчини	Поверхневий натяг розчинів (Н/м) з концентрацією		
	10 %	20 %	30 %
Цукрів:			
сахарози (цукор білий кристалічний)	82,97	80,63	78,60
фруктози	82,33	80,22	78,20
глюкози	82,85	81,22	78,40
Поліолів:			
сорбітолу	68,41	67,60	66,10
еритрітолу	72,09	70,82	69,59
мальтітолу	70,82	69,59	68,40
ізомальтітолу	71,46	69,61	67,70
лактітолу	69,46	68,80	66,30

цукрів (сахарози, фруктози, глюкози) мають значно більший поверхневий натяг, ніж розчини поліолів. Поверхневий натяг розчинів цукрів концентрацією 10 % складає від 82,3 до 83 Н/м, у поліолів від 68,4 до 73,4 Н/м, тобто поверхневий натяг поліолів на 15–18 % менший. Це вказує на властивості поліолів, як поверхнево активних речовин. Встановлено, що із збільшенням концентрації розчинів цукрів і поліолів від 10 % до 30 % поверхневий натяг зменшується.

Для визначення дії поліолів, як поверхнево активних речовин, нами були проведені спеціальні дослідження для визначення їх впливу на процес піноутворення. Піноутворюючу здатність (ПУЗ) визначали в системі меланж-цукор/цукрозамінник, при температурі 20 °C (рис. 1).

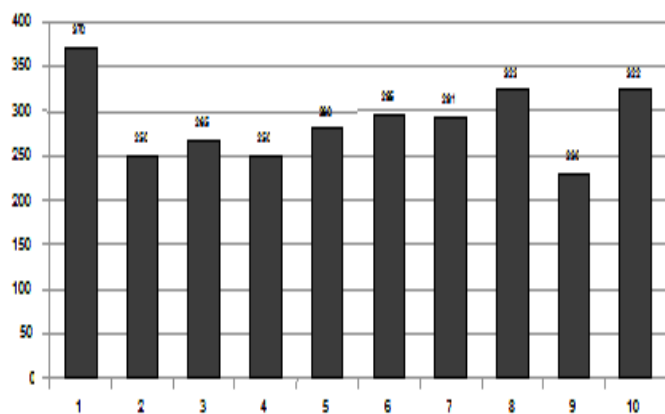


Рис. 1. ПУЗ системи меланж-цукор/цукрозамінник: 1 – нативний меланж; 2 – меланж-цукор; 3 – меланж-фруктоза; 4 – меланж-глюкоза; 5 – меланж-сорбітол; 6 – меланж-лактітол; 7 – меланж-мальтітол; 8 – меланж-еритрітол; 9 – меланж-ізомальтітол; 10 – меланж-ізомальтітол (теплий спосіб, при t=40°C)

Аналіз отриманих даних показав, що цукри і поліоли погіршують ПУЗ меланжу. Однак наші дослідження показали, що піноутворююча здатність системи меланж-поліол значно краща, ніж системи меланж-цукор. Це свідчить про те, що поліоли мають властивості поверхневоактивних речовин (ПАР).

Низьку піноутворюючу здатність системи меланж-ізомальгітол ми пояснюємо низькою розчинністю ізомальгітолу. Для підвищення розчинності ізомальгітолу суміш меланж-ізомальгітол нагрівали до 40-45 °С і проводили збивання маси в тих самих умовах, що і при температурі 20 °С. Аналіз отриманих даних показав, що ПУЗ при 40 °С збільшується на 170,23 % відносно маси, збитої при 20 °С.

Незважаючи на те, що еритритол теж має невисоку розчинність, 37 % (розчинність ізомальгітолу St 24,5 %) ПУЗ системи меланж-еритритол висока і складає 230 %. Таку високу піноутворюючу здатність ми пояснюємо його невеликою молекулярною масою. Це пояснення відноситься і до системи меланж-сорбітол. Невисока молекулярна маса сорбітолу, його висока розчинність сприяє тому, що система меланж-сорбітол має найбільшу ПУЗ серед поліолів.

Проведені дослідження показали доцільність використання поліолів як цукрозамінників при виробництві кондитерських виробів піноподібної структури.

Дуже важливою характеристикою для кондитерських виробів є сорбційна здатність, яка залежить від сорбційних властивостей сировини. Нами на приладі Мак-Бена була визначена сорбційна властивість поліолів і цукрів (сахароза, фруктоза, глюкоза) при  $\phi=0-100\%$  ( $a_w=0-1,0$ ). Результати отриманих даних наведені в табл. 5.

В зоні полімолекулярної адсорбції тільки фруктоза та сорбітол виявили здатність поглинати воду. В зоні капілярної адсорбції всі цукри і поліоли мають водопоглинальну здатність. Визначено, що при  $\phi > 75\%$ , а особливо при  $\phi=80\%$  різко зростає водопоглинальна здатність усіх поліолів, крім еритритолу, який починає поглинати вологу при  $\phi=90\%$ . При  $\phi=100\%$  водопоглинальна здатність еритритолу досягає 55 ммоль/г, однак при зменшенні  $\phi$  до 85% (процес десорбції) еритритол швидко втрачає вологу. В зв'язку з тим, що сорбційна здатність поліолів при  $\phi > 75\%$ , особливо при  $\phi=80\%$  різко збільшується, кондитерські виробни на їх основі треба зберігати у вологонепроникній тарі при температурі 18–20°C та  $\phi$  не більше 75%.

Отриманні дані свідчать, що поліоли, крім сорбітолу та цукрів, крім фруктози, при  $\phi \leq 75\%$  практично не гігроскопічні речовини. Ця властивість має позитивне значення для таких кондитерських виробів, як печиво, крекери, галети, вафлі (листи), шоколад, карамель і негативне значення для мармеладу, пастили, зефіру, маршмелу, цукерок, бісквітів, кексів, маффінів, пряників, тому що низька гігроскопічність і водоутримуюча здатність буде сприяти процесу черствіння при зберіганні. Тому при виробництві таких виробів, як маршмелу, помадні цукерки, пастила, зефір, мармелад, бісквіт, кекси, мафіни з використанням поліолів треба обов'язково до рецептурного складу вводити сировину, яка має високу гігроскопічність і вологоутримуючу здатність.

Таблиця 5

Водопоглинальна здатність поліолів та цукрів

Речовина	Вологопоглинання, ммоль/г		
	Перша зона $\phi=0-25, \%$ $a_w=0,0-0,25$	Друга зона $\phi=26-75, \%$ $a_w=0,26-0,75$	Третя зона $\phi=76-100, \%$ $a_w=0,76-1,0$
Поліоли:			
сорбітол	0,0–0,0	0,0–32,0	32,1–140,0
лактітол	0,0–0,0	0,0–0,0	0,0–120,0
ізомальгітол	0,0–0,0	0,0–3,0	3,1–140,0
еритритол	0,0–0,0	0,0–0,0	0,0–55,0
мальгітол	0,0–0,0	0,0–1,5	1,6–100,0
Цукри:			
сахароза	0,0–0,0	0,0–0,0	0,0–140,0
фруктоза	0,0–0,0	0,0–37,0	37,1–160,0
глюкоза	0,0–0,0	0,0–0,0	0,0–160,0

Дослідження показали, що всі цукри і поліоли в зоні мономолекулярної адсорбції не поглинають во-

здатністю.

Поступила 02.2013

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Ionit FAO/WHO Experts Consultations, Carbohydrates in human nutrition (FAO Food and Nutrition Paper 66) Rome, Italy, FAO, 1998.
2. Полумбрик, М.О. Вуглеводи в харчових продуктах і здоров'я людини [Текст] / М.О. Полумбрик – К. : Академперіодика, 2011. – 487 с.
3. European Communities (1990) Council Directive 90/496/EEC of 24th of September 1990 on nutrition labelling for foodstuffs. Official Journal of the European Communities No.L 276, 6.10.90, PP. 40, Luxembourg.
4. Zumbé, A. Polyols in confectionery: the route to sugar-free, reduced sugar and calorie confectionery [Text] / A. Zumbé, A. Lee, D. Stroey // Br.J.Nutr.2001.v.85 (Suppl.1), p.S31-S45.
5. FASEB (1994) The Evaluation of the Energy of Certain Sugar Alcohols Used as Food Ingredients. Bethesda, MD: Life Sciences Research Office, Federation of American Societies for Experimental Biology.
6. Дисбактериозы – актуальная проблема медицины [Текст] / А.А. Воробйов, Н.А. Абрамов, В.М. Бондарко, Б.А. Шендеров // Вестник РАМН, № 3. – 1997. – с.6.
7. Codex (1991) Codex standard for formule foods for use in weight control diets. Codex standart 181
8. European Communities (1996) European Parliament and Council Directive 96/83/EC of 19<sup>th</sup> December № L 48, 19.2.97 pl6, Luxembourg.
9. Position of the American dietetic association: use of nutritive and nonnutritive sweeteners // J.Am.Diet. Assoc.2006.v.104, p. 225-275.
10. Livesey 6. Tolerance of low-digestible carbohydrates: a general view // Br.J.Nutr. 2001.v.85, p.S17-S19.
11. Zumbé A.A., Brinkworth R.A. Iomparative studies of gastrointestinal tolerance and acceptability of milk chocolate containing either sucrose, iso-malt or sorbitol in health consumer and type 2 diabetics // zeitschrift fur hrung-swissenschaft 1992.v.31, p. 40-48.
- Scott W.I. Water relations of Staphylococcus aureus at 30°C. // Aust. Y. Biol. Sci. 1953, v.6.p. 549-556.