

# لاکتوز

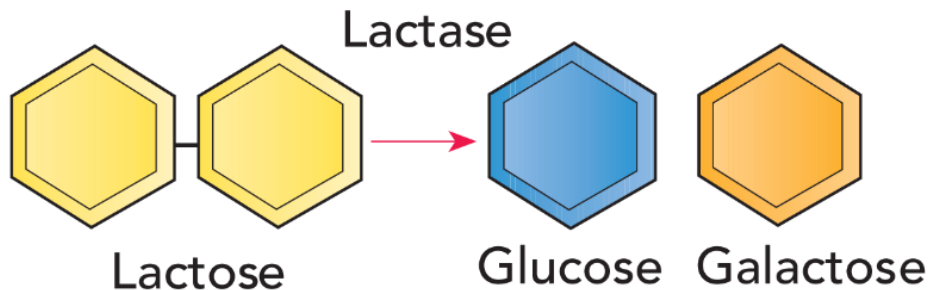
• لاکتوز دي ساکاريدي احيا کننده متشکل از گلوکز و گالاکتوز است که توسط پیوند  $\beta$ -۱-۴ گلیکوزيدي به هم متصل شده اند.

• When lactose is hydrolyzed by  $\beta$ -D-galactosidase (lactase), an enzyme that splits these monosaccharides, the result is increased sweetness, and depressed freezing point.

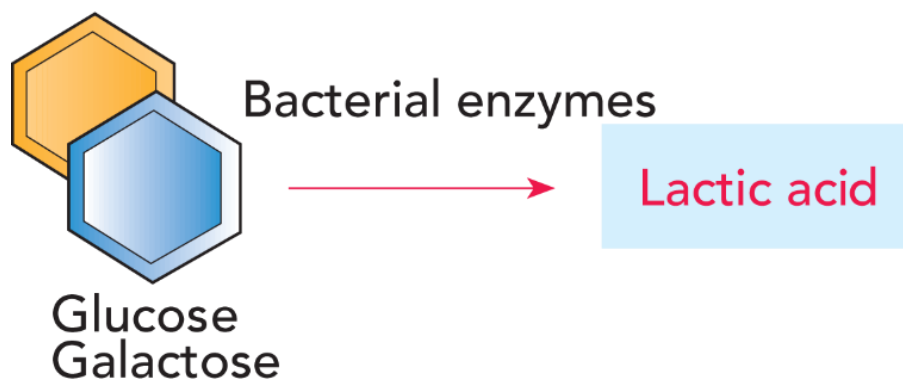
• کمترین مقدار لاکتوز مربوط به پایان دوره شیر دهی و زمانی است که دام از بیماری پستان رنج می برد.

# لاکتوز

- منحصرأ در غدد پستانی ساخته می شود اوایل دوره شیردهی، اواخر دوره و خصوصاً در اثر عفونت ماستیتیس، به دلیل ورود NaCl از خون به شیر، از غلظت لاکتوز کاسته می شود.
- از یک مولکول گلوکز و یک مولکول گالاکتوز، با خارج شدن یک مولکول آب، بوجود می آید
- (۴.۸ to ۵.۲% of milk, ۵۲% of milk SNF, and ۷۰% of whey solids (حدود ۵٪ از ۶.۵ درصد ماده خشک آب پنیر را تشکیل می دهد



## نقش لاکتوز



• منشاء اسید لاکتیک

• سهم مهمی در ایجاد خواص کلی شیر از قبیل حفظ فشار اسمزی، افزایش نقطه جوش و

کاهش نقطه انجماد ایفا می کند (۵۰٪ فشار اسمزی شیر مربوط به لاکتوز)

• به عنوان یک افزودنی مواد غذایی به علت تثبیت پروتئین و شیرینی نسبی پائین

# نقش لاکتوز

- عنوان جایگزین ساکارز ( برای افزایش احساس دهانی بدون افزایش شیرینی ) در رومالهای شیرینی ها (آمیزه ای از شکر، خامه یا کره، سفیده تخم مرغ و مواد رنگی روی کیک و شیرینی ها - معروف به Icing و Topping)

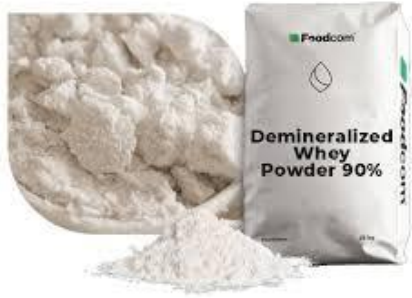
- برای قهوه ای شدن ( البته با درجه کنترل شده ) در بعضی از فراورده های نانی از قبیل بیسکویت

- با افزایش رشد باکتری های مقاوم به اسید در روده و کاهش pH سبب افزایش جذب کلسیم می شود.

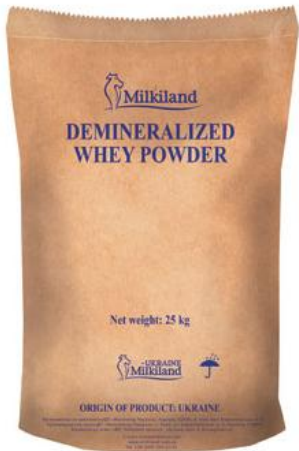
# کاربردهای غذایی لاکتوز

- مقدار آب پنیری که سالانه به عنوان یک محصول جانبی از تولید پنیر و کازئین حاصل می شود حاوی بیش از  $8 \times 10^6$  تن لاکتوز می باشد.
- که بر اساس آمارهای جدید مقدار لاکتوز تولید شده با در نظر گرفتن میزان شربت لاکتوز بیش از دو میلیون تن در سال برآورد شده است.
- بعلاوه سالانه حدود ۲۰۰۰۰۰۰ تن آب پنیر پودری که به عنوان یک منبع لاکتوز برای کاربردهای خاص استفاده می شود (مثل فرمول غذایی کودک) تولید می شود.
- لاکتوز در گذشته مشکلات دفعی داشته است. با این همه، برخی خصوصیات لاکتوز آن را یک عنصر ارزشمند برای مصارف دارویی و کاربردهای غذایی می کند. لاکتوز زمانی که در صنایع دارویی (به طور گسترده به عنوان یک رقیق کننده در تولید قرص کاربرد دارد) ، استفاده می شود ارزشمندتر می باشد.
- World whey output at approximately ۱۸۰ million tonnes in ۲۰۱۳ contains some ۱.۵ million tonnes of increasingly high-value protein and ۸.۶ million tonnes of lactose, a very important source of carbohydrate for the world.

# کاربردهای غذایی لاکتوز



- کاربرد اصلی لاکتوز در صنایع غذایی آن است که بتوانند توسط آن فرمول غذایی کودک را بیشتر شبیه شیر انسان نمایند؛ چونکه شیر گاو حاوی ۴.۸٪ لاکتوز است در حالیکه شیر انسان حاوی حدود ۷٪ لاکتوز می باشد.



- پودر آب پنیر بدون مواد معدنی Demineralized whey powder (DWP) برای این منظور بسیار مناسب می باشد. زیرا از لاکتوز ارزانتر است
- و DWP علاوه بر لاکتوز، پروتئینهای آب پنیر را تأمین کرده و نسبت کازئین: پروتئین های آب پنیر را تا میزان نزدیک به نسبت آن در شیر انسان تنظیم می کند (۴۰:۶۰ در مقایسه با ۸۰:۲۰ در شیر گاو).
- چون آب پنیر گاو حاوی تقریباً ۴ برابر مواد معدنی شیر انسان باشد، لذا جدا کردن مواد معدنی آن ضروری است.

# Lactose plays an important role in milk and milk products:

- ١. It is an essential constituent in the production of fermented dairy products.
- ٢. It contributes to the nutritive value of milk and its products; however, many non- Europeans have limited or zero ability to digest lactose in adulthood, leading to lactose intolerance.
- ٣. It affects the texture of certain concentrated and frozen products.
- ٤. It is involved in heat-induced changes in the colour and flavour of highly heated milk products.
- ٥. Its changes in state (amorphous vs. crystalline) have major implications for the production and stability of many dehydrated milk products.

# اشکال لاکتوز

- لاکتوز به ۲ شکل وجود دارد.  $\alpha$ -لاکتوز ( تک آبه یا بدون آب )،  $\beta$ -لاکتوز بدون آب

- شکل بتا حلالیت بیشتری دارد. اما به دلیل موتاروتاسیون Mutarotation دو شکل  $\alpha$  - و  $\beta$  - در یک محلول به حال تعادل وجود دارند.

- به دلیل دارا بودن ۱۷.۸٪ حلالیت آبی در  $20^{\circ}\text{C}$ ، یکی از کربوهیدراتهای با حلالیت بسیار پائین در آب است ( حلالیت فرم  $\alpha$  و بتا بترتیب ۷ $\approx$  و ۵۰ $\approx$  گرم در هر ۱۰۰ میلی لیتر آب)

- اشکال  $\alpha$  و  $\beta$ - لاکتوز از نظر موارد زیر متفاوت است:

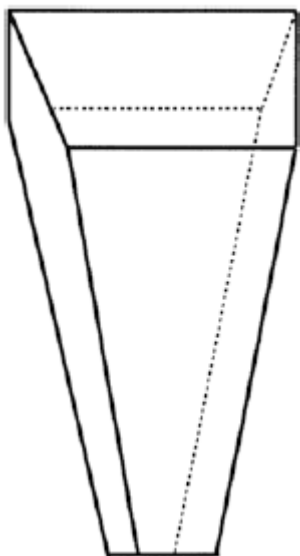
□ حلالیت، شکل و اندازه کریستال، هیدراتاسیون و فرم کریستالی که منجر به تفاوت در میزان جذب رطوبت می شود، چرخش خاص، شیرینی





# اشکال لاکتوز

- به دلیل حلالیت بسیار پائین فرم  $\alpha$  - هیدراته موجب بروز حالت شنی (Sandiness) در فراورده ها یی نظیر بستنی و شیر تغلیظ شده



- شکل اصلی در حالت شنی، معروف به تاماهاک (Tomahawk) شکلی شبیه تبرزین سرخپوستان که سر آن از سنگ یا استخوان تیز بود) است.
- اگر ابعاد کریستال از  $15\mu m$  بیشتر شود، در دهان و روی زبان قابل تشخیص اند.
- برای رفع مشکل حالت شنی از روش هسته دادن (پودر کریستال) استفاده می شود.

# هیدرولیز لاکتوز

## • هیدرولیز با اسید

CC ۱۰۰ محلول ۵٪ لاکتوز CC ۱۰ محلول ۱۰٪ ، HCL به مدت ۹۰ دقیقه در ۹۰°C استفاده می شود.

## • هیدرولیز با آنزیم

منشاء : میکروبی *Torula cremoris* ، بتاگالاکتوزیداز بادام  
یا معده شیر خوار

- $\beta$ -Galactosidase is found in bacteria, fungi, and yeasts. In plants, it is mainly found in almonds, peaches, apples, and apricots. However, on a commercial and an industrial scale, the most commonly used sources of  $\beta$ -galactosidase are *Aspergillus* and *Kluyveromyces* (Zhou and Chen ۲۰۰۱). May ۱۲, ۲۰۱۷

# تهیه لاکتوز

- با استفاده از رزین های مخصوص، کریستالیزاسیون و اولترافیلتراسیون
- رسوب پروتئین ها و جداسازی لاکتوز ( در يك روش قدیمی با زدن آب آهك به آب پنیر و حرارت دادن، تمامی پروتئین ها رسوب می کند که بعد از صاف کردن تغلیظ می کنند سپس آن را کریستال نموده و پس از دو باره محلول کردن شربتی بدست می آید که به آن لاکتوز صنعتی می گویند )

# caking

- سالانه حدود ۵۰۰ هزار تن لاکتوز از آب پنیر تهیه می شود.

- وقتی که شیر تغلیظ شده با اسپری درایر خشک می شود زمان کافی وجود ندارد تا لاکتوز کریستال شود لذا لاکتوز به شکل آمورف یا شیشه ای در می آید که شدیداً جاذب الرطوبه است اگر رطوبت به ۶ تا ۸ درصد برسد لاکتوز به شکل آلفا منوهیدراته کریستال شده و با پیشرفت آن موجب ایجاد کلوخه ای از لاکتوز (معروف به کیک لاکتوز caking -) می شود. که یک مشکل جدی در پودرهای آب پنیر، به دلیل مقدار بالای لاکتوز در آنها (۷۰٪) می باشد.



# عدم تحمل لاکتوز

## Lactose Intolerance

Common symptoms include



Bloated stomach.



Intestinal gas.



Nausea and vomiting.



Stomach pain and cramping.



Stomach gurgling or rumbling.



Diarrhea.

• برخی از انسانها مقدار لاکتاز مورد نیاز جهت هیدرولیز لاکتوز را ندارند یا در

مقادیر کمی دارند – عدم توانایی جذب در روده کوچک تا رود بزرگ رفته و به دلیل مصرف آن توسط باکتریها

• اسهال، نفخ، سر درد، انقباض عضلانی و...، از عوارض عدم هیدرولیز لاکتوز

در بدن است که به این حالت عدم تحمل لاکتوز نامیده می شود

• برای حل این معضل با اعمال روشهایی لاکتوز را هیدرولیز می نمایند و

فراورده هایی تهیه می کنند که حاوی لاکتوز کمتر یا بدون آن باشد.

# گالاکتوزمیا

- در نتیجه ممانعت از کاتابولیز گالاکتوز به دلیل کمبود دو آنزیم گالاکتوکیناز یا گالاکتوز-۱p: uridyl یوریدیل ترانسفراز، بروز می کند.
- کمبود گالاکتوکیناز باعث تجمع گالاکتوز می شود که از طریق مسیرهای جایگزین متابولیکی دیگری کاتابولیز می شوند؛ یکی از این مسیرها باعث تجمع گالاکتیتول در بافت‌های مختلف می شود؛ مثل چشم که باعث بروز آب مروارید در آن می شود.
- کمبود گالاکتوز-۱p یوریدیل ترانسفراز باعث غیر طبیعی شدن غشاهای مغز و کند ذهنی می شود مگر اینکه چند هفته بعد از زایمان از ورود گالاکتوز از طریق رژیم غذایی جلوگیری شود.
- هر دو شکل گالاکتوزمیا به میزان یک در هر ۵۰۰۰۰ تولد رخ می دهد
- Galactose-1P:uridyl transferase

- شکل طبیعی تجاری لاکتوز،  $\alpha$ -لاکتوز می باشد. چراکه نسبت به آنومر  $\beta$ -لاکتوز در دماهای کمتر از  $93.5^{\circ}\text{C}$  درجه سانتیگراد حلالیت کمتری دارد.
- زمانیکه شیر تغلیظ شده به صورت پاششی خشک می شود، زمان کافی برای کریستاله شدن لاکتوز وجود ندارد و تنها شکل شیشه ای آنامورف لاکتوز ایجاد می شود.
- اگر مقدار رطوبت پودر در حد پایین حفظ شود، لاکتوز شیشه ای پایدار است اما اگر مقدار رطوبت تا حد ۶٪ افزایش یابد، مثلاً اگر پودر در معرض اتمسفر با رطوبت بالا قرار گیرد، لاکتوز به صورت  $\alpha$ -لاکتوز مونوهیدرات کریستاله می شود.
- و بر این اساس اگر کریستالیزاسیون به طور وسیع رخ دهد، یک توده درهم از کریستالها تشکیل می شود که باعث "کیکی شدن" (caking) می شود، که یک مشکل جدی در پودرهای آب پنیر، به دلیل مقدار بالای لاکتوز در آنها (۷۰٪) می باشد.
- این مشکل با کریستالیزاسیون وسیع لاکتوز قبل از خشک کردن که با دانه بندی محلول توسط لاکتوز پودر شده ریز انجام می شود، قابل جلوگیری است.

# ویژگیهای فیزیکی شیمیایی لاکتوز

- لاکتوز دی ساکاریدی احیا کننده متشکل از گلوکز و گالاکتوز است که توسط پیوند  $\beta$ -1-4- گلیکوزیدی به هم متصل شده اند.
- در بین قندها، لاکتوز ویژگیهای قابل ملاحظه ای دارد که می تواند مشکلاتی را در فرآورده های شیر در طول فرآیند و انبارداری ایجاد نماید. با این همه، برخی از ویژگیهای آن به دلیل فوایدشان قابل استفاده است.
- گروه آلدهیدی کربن شماره یک گلوکز، اغلب به صورت همی استال وجود دارد؛ در نتیجه این کربن نامتقارن و ایزومری می باشد. بنابراین، مانند همه قندهای احیا کننده، لاکتوز به دو شکل آنومری  $\alpha$  و  $\beta$  وجود دارد که هر کدام خصوصیات کاملاً متفاوتی دارند.
- از نقطه نظر کاربردی، مهمترین تفاوت بین دو شکل آنومری لاکتوز، ویژگیهای حل شوندگی و کریستالیزاسیون آنها می باشد. کریستالهای  $\alpha$ - لاکتوز مونوهیدراته هستند؛ درحالیکه کریستالهای  $\beta$ - لاکتوز بدون آب می باشند.



## مشتقات لاکتوز

- تعداد زیادی از فرآورده های ارزشمند و مورد استفاده، از لاکتوز تولید می شوند. که مشخص ترین آنها عبارتند از:
- لاکتولوز ( گالاکتوز ۱-۴ فروکتوز): این قند که بصورت طبیعی وجود ندارد، با حرارت دهی لاکتوز خصوصاً تحت شرایط قلیایی ضعیف، تشکیل می شود. لاکتولوز با  $\beta$ - گالاکتوزیداز روده ای هیدرولیز نمی شود و وارد روده بزرگ شده و در آنجا به رشد *Bifidobacterium* spp کمک می نماید. لاکتولوز به مقدار ضعیفی مسهل است و به طور گسترده برای همین منظور استفاده می شود. سالیانه بیش از ۲۰۰۰۰ تن لاکتولوز تولید می شود.
- شربت گلوکز- گالاکتوز، با استفاده از هیدرولیز اسیدی یا آنزیمی (  $\beta$ -گالاکتوزیداز) تولید می شود. فن آوری تولید چنین هیدرولیزهایی توسعه یافته است اما محصول حاصله در مقایسه با سایر قندها ( ساکاروز، گلوکز، گلوکز- فروکتوز) ارزش اقتصادی ندارد.

- گالاکتوالیگوساکاریدها:  $\beta$ - گالاکتوزیداز علاوه بر داشتن فعالیت هیدرولتیکی، دارای فعالیت ترانسفرازی نیز می باشد؛ تحت شرایط خاص، نقش دوم غالب بوده و منجر به تولید گالاکتوالیگوساکاریدها می شود که دارای ویژگیهای بیفیدوژنی بوده و به نظر می رسد که دارای کاربرد غذایی باشند.
- الکل به طور اقتصادی با تخمیر لاکتوز توسط *kluyveromyces lactis* تولید می شود.
- سایر مشتقاتی که محدود شده اند اما کاربردهای مهمی دارند، عبارتند از : لاکتیتول، لاکتوبیونیک اسید، لاکتیک اسید، استیک اسید، پروپیونیک اسید، اوره، لاکتوزیل و پروتئین های تک یاخته (SCP).

## حلالیت لاکتوز

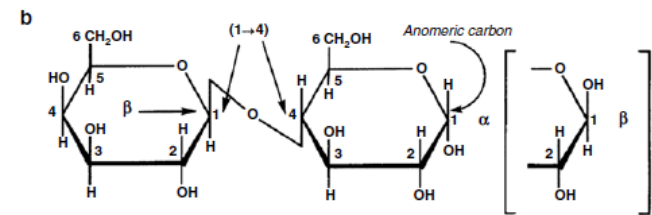
- حلالیت  $\alpha$  و  $\beta$ - لاکتوز در آب  $20^{\circ}\text{C}$  به ترتیب حدود  $7\text{g}$  و  $50\text{g}$  در هر  $100\text{ml}$  می باشد.
- حلالیت  $\alpha$  لاکتوز نسبت به  $\beta$ - لاکتوز، به دما وابستگی بیشتری دارد و منحنی انحلال در  $^{\circ}\text{C}$  ۹۳.۵ متقاطع می باشد.
- در محلول آبی در حالت تعادلی، لاکتوز بصورت مخلوطی از آنومرهای  $\alpha$  و  $\beta$  با نسبت تقریبی  $37:63$  ( $37$  به  $63$ ) وجود دارد.

# مقدار زیادی $\alpha$ -لاکتوز در آب

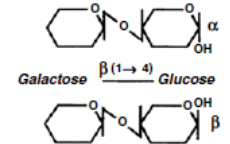
- زمانی که مقدار زیادی از  $\alpha$ -لاکتوز به آب افزوده می شود، فوراً ۷g از آن در هر ۱۰۰ml آب حل می شود
- در این صورت برای رسیدن به حالت تعادلی  $\alpha:\beta$  و نسبت ۳۷:۶۳ بخشی از اشکال  $\alpha$  به  $\beta$  تبدیل می شود.
- بنابراین محلول بجا مانده هم برای شکل  $\alpha$  و هم  $\beta$  به صورت غیر اشباع در می آید (یعنی اینکه چون قابلیت حلالیت  $\alpha$  و  $\beta$  به ترتیب حدود ۷g و ۵۰g است لذا هنوز مقدار بیشتری از هر دو شکل می توانند حل شوند).
- در نتیجه  $\alpha$ -لاکتوز بیشتری حل شده و به تبع آن بخشی به  $\beta$ -لاکتوز تبدیل می شود. انحلال و تغییر شکل، تا بروز دو رخداد ادامه می یابد
- یعنی ۷g  $\alpha$ -لاکتوز حل شده در هر ۱۰۰ml و رسیدن به حالت تعادلی ۳۷:۶۳. بنابراین مقدار نهایی کل لاکتوز در این محلول ۱۸.۵g به ازای هر ۱۰۰ میلی لیتر می شود.

## اما اگر $\beta$ -لاکتوز زیادی به آب اضافه شود:

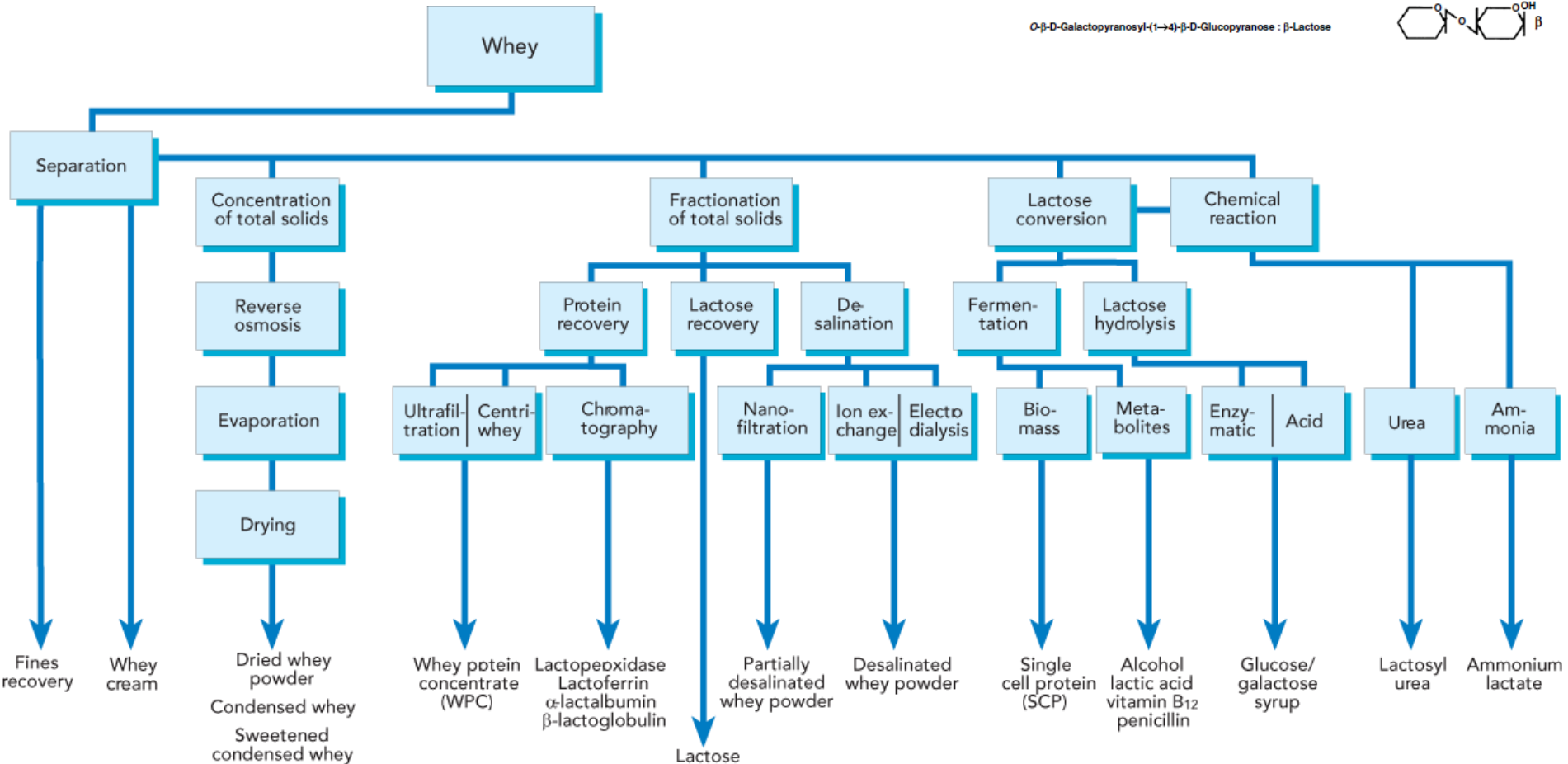
- ابتدا حدود ۵۰ گرم آن حل می شود سپس برای رسیدن به حالت حدود ۱۸.۵g آن به  $\alpha$ -لاکتوز تبدیل می شود،
- که این مقدار از فرم  $\alpha$  از مقدار دارای قابلیت حلالیتش (یعنی ۷ گرم) بیشتر است در نتیجه بخشی از  $\alpha$ -لاکتوز کریستاله می شود.
- این مسئله بنوبه خود حالت تعادلی بین  $\alpha$  به  $\beta$  محلول را بهم زده و لذا  $\beta$ -لاکتوز بیشتری به  $\alpha$ -لاکتوز تبدیل می شود و  $\alpha$ -لاکتوز تشکیل شده نیز کریستال می شود.
- تغییر  $\beta$ -لاکتوز و کریستاله شدن  $\alpha$ -لاکتوز تا زمانی ادامه دارد که ۷g از شکل  $\alpha$  و ۱۱.۲g از شکل  $\beta$ -محلول شوند.



**Lactose**  
 $\alpha$ -D-Galactopyranosyl-(1→4)-D-Glucopyranose :  $\alpha$ -Lactose



$\alpha$ -D-Galactopyranosyl-(1→4)-D-Glucopyranose :  $\alpha$ -Lactose

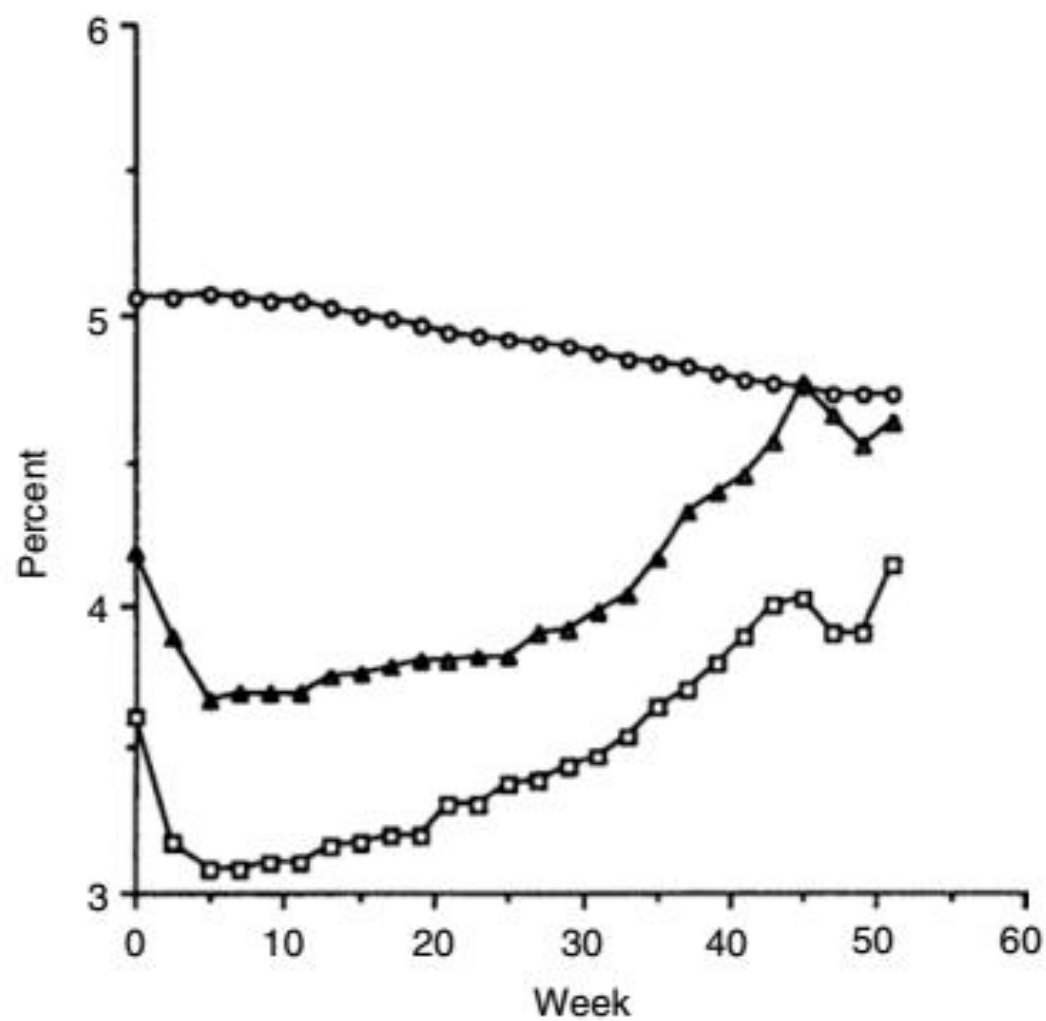


## **Table ۲.۶ Food applications of lactose**

- ۱. Humanized baby foods**
- ۲. Demineralized whey powder or lactose**
- ۳. Instantizing/free-flowing agent in foods**
- ۴. Agglomeration due to lactose crystallization**
- ۵. Confectionery products**
- ۶. Improves functionality of shortenings**
- ۷. Anticaking agent at high relative humidity**
- ۸. Certain types of icing**
- ۹. Maillard browning, if desired**
- ۱۰. Accentuates other flavours (chocolate)**
- ۱۱. Flavour adsorbant**
- ۱۲. Flavour volatiles**
- ۱۳. Flavour enhancement**
- ۱۴. Sauces, pickles, salad dressings, pie fillings**

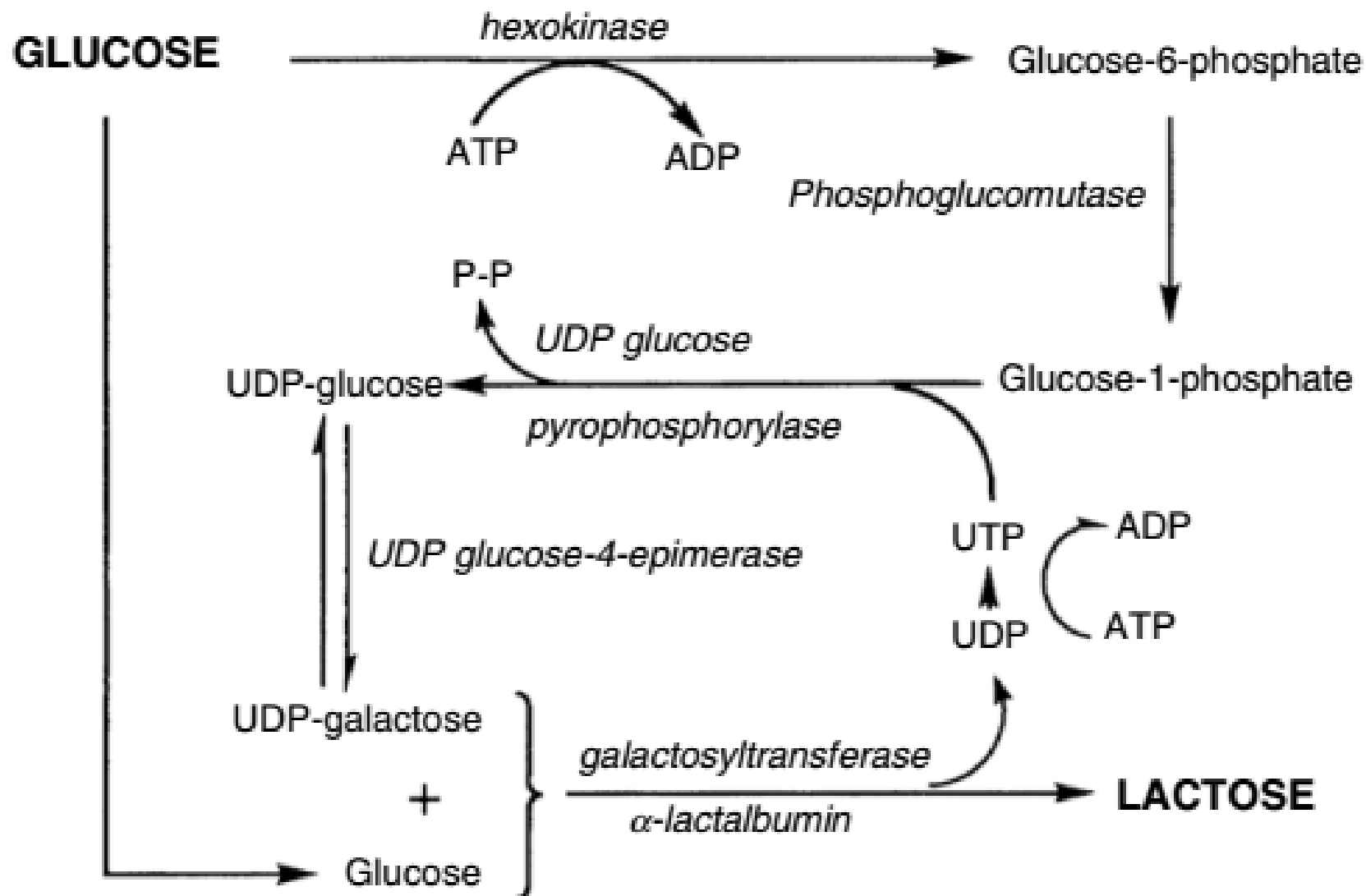
The  $\alpha$  and  $\beta$  forms of lactose differ with respect to:

- Solubility**
- Crystal shape and size**
- Hydration of the crystalline form, which leads to hygroscopicity**
- Specific rotation**
- Sweetness**



**Fig. 2.1** Changes in the concentrations of fat (*closed triangle*), protein (*empty square*) and lactose (*open circle*) in milk during lactation





**Fig. 2.5** Pathway for lactose synthesis