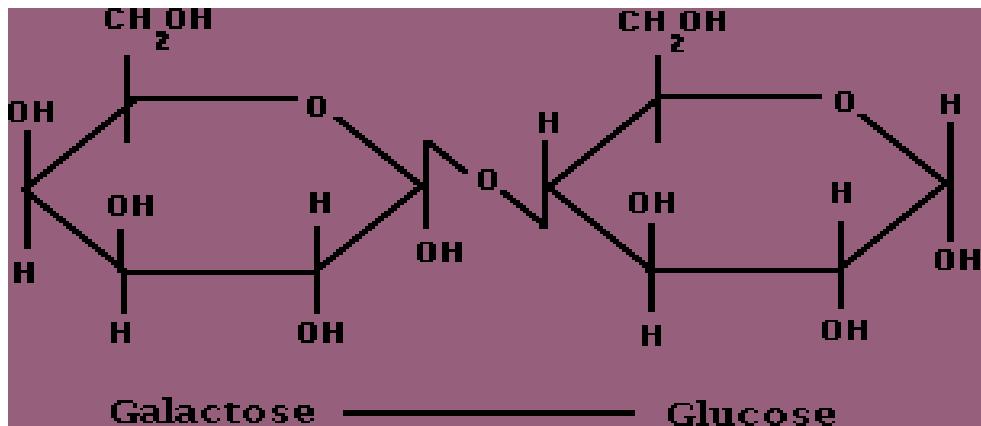


# لاکتوز



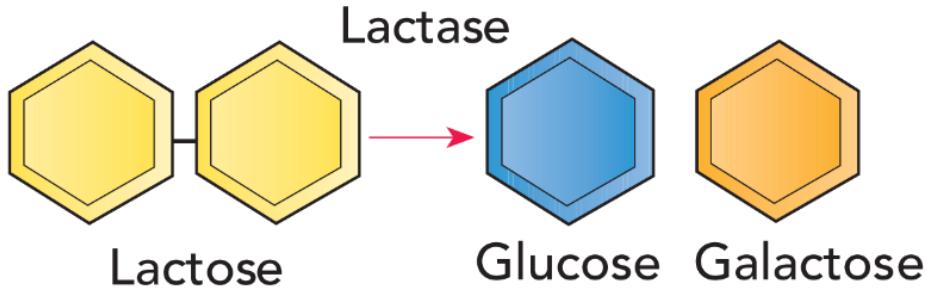
- لاکتوز دی ساکاریدی احیا کننده متشکل از گلوکز و گالاکتوز است که توسط پیوند ۱-۴- $\beta$ -گلیکوزیدی به هم متصل شده اند.

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

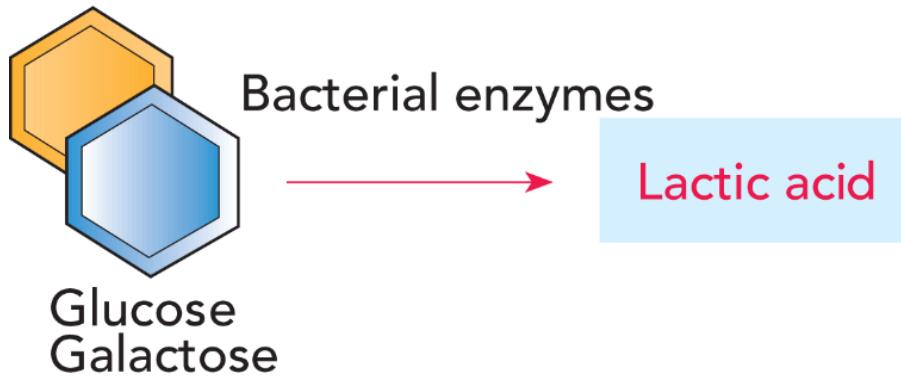
- کمترین مقدار لاکتوز مربوط به پایان دوره شیر دهی و زمانی است که دام از بیماری پستان رنج می برد.

# لاکتوز

- منحصراً 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 گالاكتوز، با خارج شدن یک مولکول آب، بوجود می آید
- حدود ۶.۵% to ۱۴.۸% of milk, ۵۲% of milk SNF, and ۷۰% of whey solids (درصد ماده خشک آب پنیر را تشکیل می دهد)



## نقش لاكتوز



- 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 لاكتوز)
- به عنوان یک افزودنی مواد غذایی به علت ثابت 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 Topping Icing و

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

بیسکویت

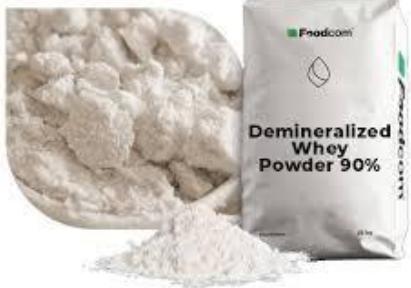
• با افزایش رشد باکتری های مقاوم به اسید در روده و کاهش pH سبب افزایش جذب کلسیم

می شود.

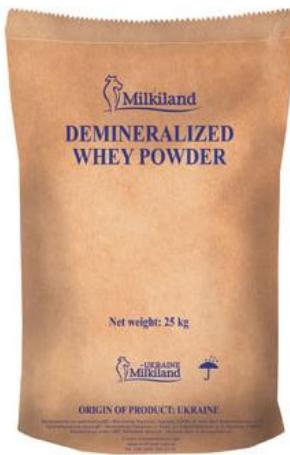
# کاربردهای غذایی لاكتوز

- مقدار آب پنیری که سالانه به عنوان یک محصول جانبی از تولید پنیر و کاژئین حاصل می شود حاوی بیش از  $8 \times 10^6$  تن لاكتوز می باشد.
- که بر اساس آمارهای جدید مقدار لاكتوز تولید شده با در نظر گرفتن میزان شربت لاكتوز بیش از دو میلیون تن در سال برآورد شده است.
- بعلاوه سالانه حدود ۲۰۰۰۰۰۰ تن آب پنیر پودری که به عنوان یک منبع لاكتوز برای کاربردهای خاص استفاده می شود (مثل فرمول غذایی کودک) تولید می شود.
- لاكتوز در گذشته مشکلات دفعی داشته است. با این همه، برخی خصوصیات لاكتوز آن را یک عنصر ارزشمند برای مصارف دارویی و کاربردهای غذایی می کند. لاكتوز 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 180 million tonnes in 2013 contains some 1.5 million tonnes of increasingly high-value protein and 8.6 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 غذای کودک را بیشتر شبیه شیر انسان نمایند؛ چونکه شیر گاو حاوی ۱۴.۸٪ لاکتوز است در حالیکه شیر انسان حاوی حدود ۷٪ لاکتوز می باشد.



- پودر آب پنیر بدون مواد معدنی (DWP) Demineralized whey powder 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 ۱۴ برابر مواد معدنی شیر انسان باشد، لذا جدا کردن مواد معدنی آن ضروری است.

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

- 1. It is an essential constituent in the production of fermented dairy products.
- 2. 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.
- 3. It affects the texture of certain concentrated and frozen products.
- 4. It is involved in heat-induced changes in the colour and flavour of highly heated milk products.
- 5. 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 بنا 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  $\approx 7$  و  $\approx 50$  گرم در هر ۱۰۰ میلی لیتر آب )

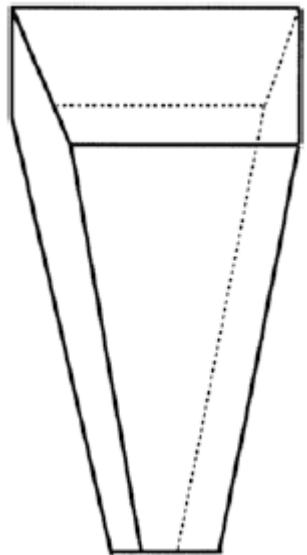


- اشکال  $\alpha$  و  $\beta$ - لاکتوز از نظر موارد زیر متفاوت است:

- 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 a - هیدراته موجب بروز حالت شنی (Sandiness) در فراورده ها یی نظیر بستنی و شیر تغليظ 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  $15\mu\text{m}$ ابیستر 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* ، بتاگالاكتوزیداز 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

# تَهِيه لَاكتوز

- با استفاده از رزین های مخصوص، کریستالیزاسیون و اولترافیلتراسیون
- رسوب پروتئین ها و جداسازی لاكتوز ( در یک روش قدیمی با زدن آب آهک 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 لاكتوز صنعتی می گویند )

# caking

• سالانه حدود ۵۰۰ هزار تن لاكتوز از آب پنیر تهیه می شود.

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



# عدم تحمل لاكتوز

## 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، انضباط 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.

# گالاكتوزمیا

- در نتیجه ممانعت از کاتابولیز گالاكتوز به دلیل کمبود دو آنزیم گالاكتوکیناز یا Galactose-1P:uridyl transferase، بروز می‌کند.
- کمبود گالاكتوکیناز باعث تجمع گالاكتوز می‌شود که از طریق مسیرهای جایگزین متابولیکی دیگری کاتابولیز می‌شوند؛ یکی از این مسیرها باعث تجمع گالاكتیتول در بافت‌های مختلف می‌شود؛ مثل چشم که باعث بروز آب‌مروارید در آن می‌شود.
- کمبود گالاكتوز-1P:uridyl transferase باعث غیر طبیعی شدن غشاهای مغز و کند ذهنی می‌شود مگر اینکه چند هفته بعد از زایمان از ورود گالاكتوز از طریق رژیم غذایی جلوگیری شود.
- هر دو شکل گالاكتوزمیا به میزان یک در هر ۵۰۰۰۰ تولد رخ می‌دهد

Galactose-1P:uridyl transferase

- شکل طبیعی تجاري لاكتوز،  $\alpha$ - لاكتوز می باشد. چراکه نسبت به آنومر  $\beta$ - لاكتوز در دماهای کمتر از  $93.5^{\circ}\text{C}$  درجه سانتيگراد حلاليت کمتری دارد.
- زمانیکه شیر تغليظ شده به صورت پاششي خشك می شود، زمان کافي برای کريستاله شدن لاكتوز وجود ندارد و تنها شکل شيشه اي آنامورف لاكتوز ايجاد می شود.
- اگر مقدار رطوبت پودر در حد پاين حفظ شود، لاكتوز شيشه اي پايدار است اما اگر مقدار رطوبت تا حد ۶٪ افزایش يابد، مثلاً اگر پودر در معرض اتمسفر با رطوبت بالا قرار گيرد، لاكتوز به صورت  $\alpha$ - لاكتوز مونوهيدرات کريستاله می شود.
- و بر اين اساس اگر کريستاليزاسيون به طور وسيع رخ دهد، يك توده درهم از کريستالها تشکيل می شود که ياعث "کيكي شدن" (caking) می شود، که يك مشكل جدي در پودرهای آب پنیر، به دليل مقدار بالاي لاكتوز در آنها (۷۰٪) می باشد.
- اين مشكل با کريستاليزاسيون وسيع لاكتوز قبل از خشك کردن که با دانه بندی محلول توسط لاكتوز پودر شده ريز انجام می شود، قابل جلوگيري است.

# ویژگیهای فیزیکو شیمیایی لاكتوز

- لاكتوز دی ساکاریدی احیا کننده متشکل از گلوکز و گالاكتوز است که توسط پیوند  $\beta$ - گلیکوزیدی به هم متصل شده اند.
- در بین قندها، لاكتوز 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 آلدھیدی 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، لاكتوز به دو شکل آنومری  $\alpha$  و  $\beta$  وجود دارد که هر کدام خصوصیات کاملً متفاوتی دارند.
- از نقطه نظر کاربردی، مهمترین تفاوت بین دو شکل آنومری لاكتوز، ویژگیهای حل شوندگی و کریستالیزاسیون آنها می باشد. کریستالهای  $\alpha$ - لاكتوز مونوهیدراته هستند؛ در حالیکه کریستالهای  $\beta$ - لاكتوز بدون آب می باشند.

## مشتقات لاکتوز

- تعداد زیادی از فرآورده‌های ارزشمند و مورد استفاده، از لاکتوز تولید می‌شوند. 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 می‌شود. لاکتولوز با  $\beta$ -گالاکتوزیداز روده ای هیدرولیز نمی‌شود و وارد روده بزرگ شده و در آنجا به رشد *Bifidobacterium spp* کمک می‌نماید. لاکتولوز به مقدار ضعیفی مسهل است و به طور گسترده برای همین منظور استفاده می‌شود. سالیانه بیش از ۲۰۰۰ تن لاکتولوز تولید می‌شود.
- شربت گلوکز- گالاکتوز، با استفاده از هیدرولیز اسیدی یا آنزیمی ( $\beta$ -گالاکتوزیداز) تولید می‌شود. 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 لاكتوز توسط *kluveromyces lactis* تولید می شود.
- سایر مشتقاتی که محدود شده اند اما کاربردهای مهمی دارند، عبارتند از : لاكتیتول، لاكتوبیونیک اسید، لاكتیک اسید، استیک اسید، پروپیونیک اسید، اوره، لاكتوزیل و پروتئین های تک یاخته(SCP).

## حلالیت لاکتوز

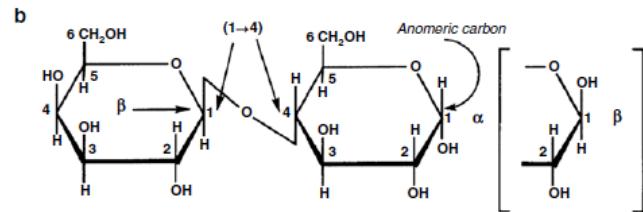
- حلالیت  $\alpha$  و  $\beta$ - لاکتوز در آب  $20^{\circ}\text{C}$  به ترتیب حدود ۷g و ۵۰g در هر ۱۰۰ml می باشد.
- حلالیت  $\alpha$  لاکتوز نسبت به  $\beta$ - لاکتوز، به دما وابستگی بیشتری دارد و منحنی اتحلال در  $0^{\circ}\text{C}$  ۹۳.۵ متقاطع می باشد.
- در محلول آبی در حالت تعادلی، لاکتوز بصورت مخلوطی از آنومرهاي  $\alpha$  و  $\beta$  با نسبت تقریبی ۳۷:۶۳ (به ۶۳٪) وجود دارد.

# مقدار زیادی $\alpha$ - لاکتوز در آب

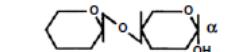
- زمانی که مقدار زیادی از  $\alpha$ - لاکتوز به آب افزوده می شود، فوراً ۷g از آن در هر ۱۰۰ml آب حل می شود.
- در این صورت برای رسیدن به حالت تعادلی  $\beta:\alpha = 63:37$  بخشی از اشکال  $\alpha$  به  $\beta$  تبدیل می شود.
- بنابراین محلول بجا مانده هم برای شکل  $\alpha$  و هم  $\beta$  به صورت غیر اشباع در می آید(یعنی اینکه چون قابلیت حلalیت  $\alpha$  و  $\beta$  به ترتیب حدود ۵۰g و ۷g است لذا هنوز مقدار بیشتری از هردو 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 او رسیدن به حالت تعادلی  $63:37$ . بنابراین مقدار نهایی کل لاکتوز در این محلول ۱۸.۵g به ازای هر ۱۰۰ میلی لیترمی شود.

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

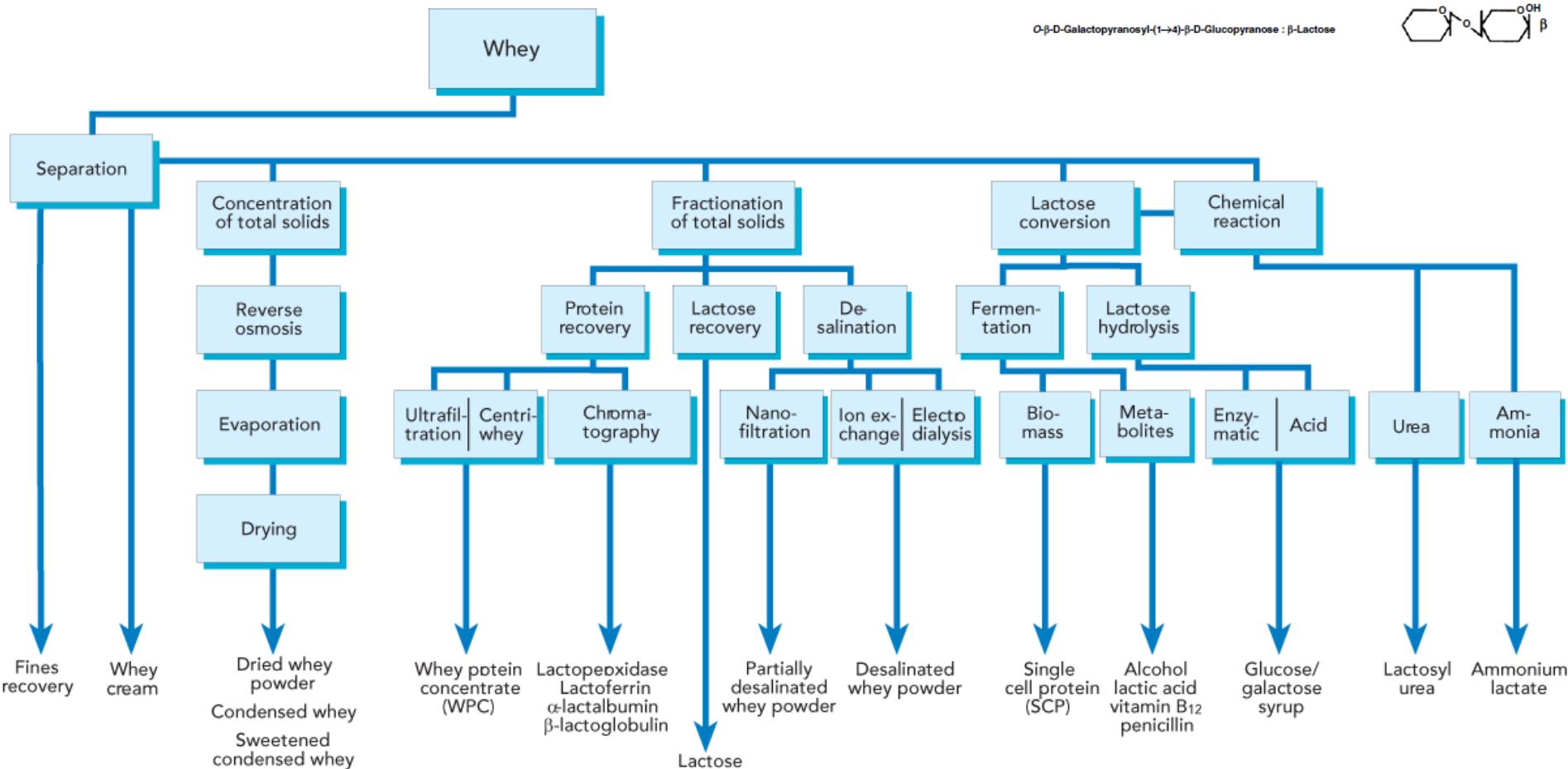
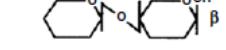
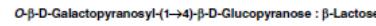
- ابتدا حدود ۵۰ گرم آن حل می شود سپس برای رسیدن به حالت حدود ۱۸.۵g آن به  $\alpha$ -لاکتوز تبدیل می شود،
- که این مقدار از فرم  $\alpha$  از مقدار دارای قابلیت حلالیتش (یعنی ۷ گرم) بیشتر است در نتیجه بخشی از  $\alpha$ -لاکتوز کریستاله می شود.
- این مسئله بنوبه خود حالت تعادلی بین  $\alpha$  به  $\beta$  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  
 $\text{O-}\beta\text{-D-Galactopyranosyl-(1}\rightarrow\text{4)}\text{-}\alpha\text{-D-Glucopyranose : }\alpha\text{-Lactose}$



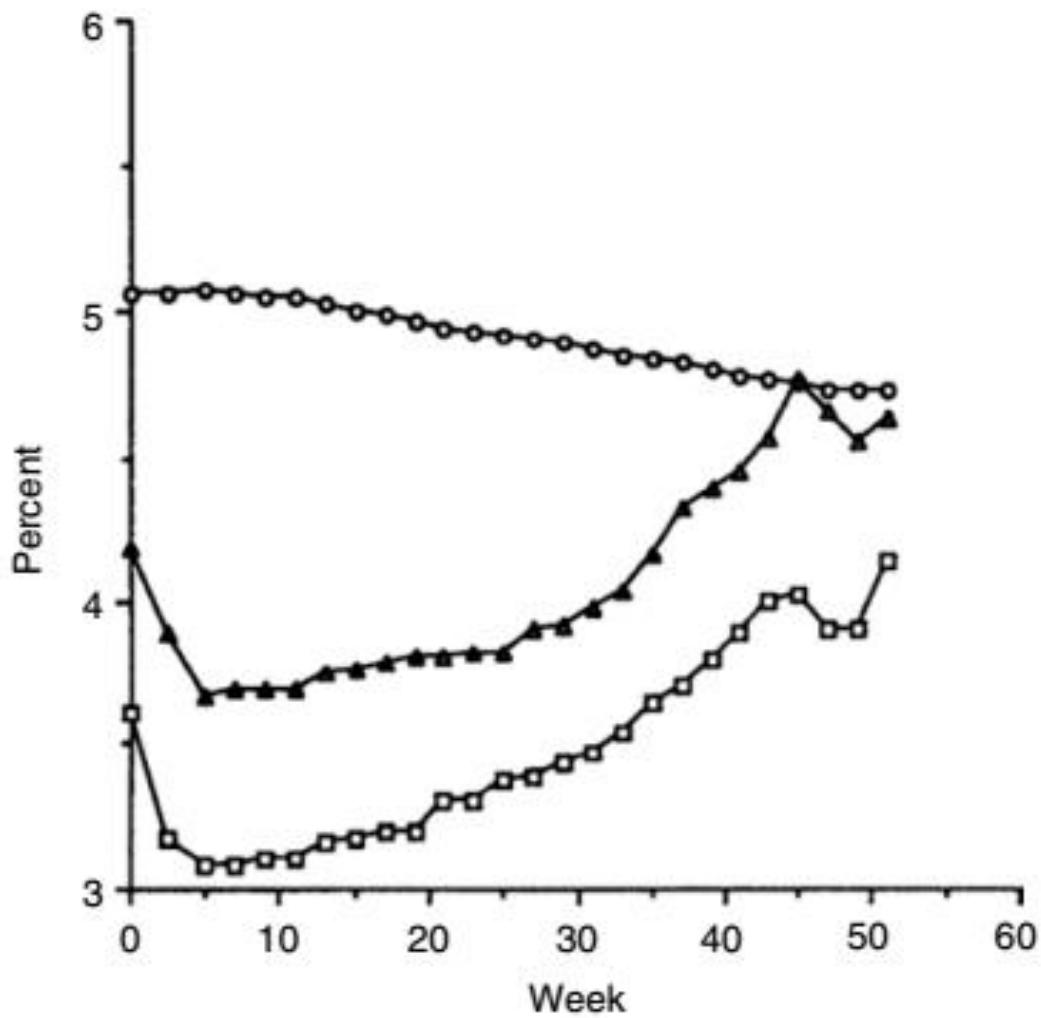
Galactose  
 $\beta(1\rightarrow 4)$  Glucose



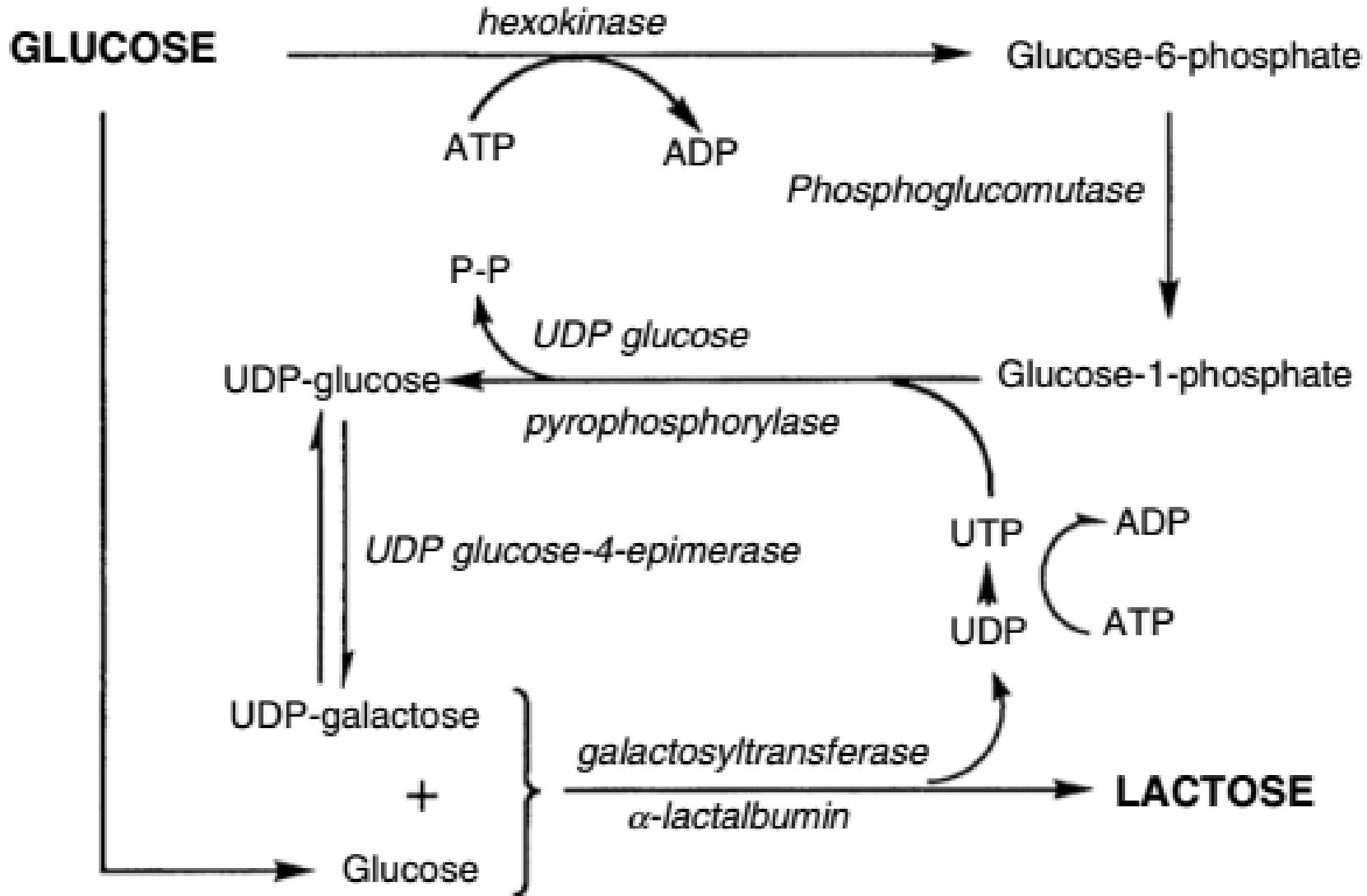
<b>Table 2.6 Food applications of lactose</b>
1. Humanized baby foods
2. Demineralized whey powder or lactose
3. Instantizing/free-flowing agent in foods
4. Agglomeration due to lactose crystallization
5. Confectionery products
6. Improves functionality of shortenings
7. Anticaking agent at high relative humidity
8. Certain types of icing
9. Maillard browning, if desired
10. Accentuates other flavours (chocolate)
11. Flavour adsorbant
12. Flavour volatiles
13. Flavour enhancement
14. 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