

پروتئین ها- ویژگی های عملکردی

Functional properties

جذب آب

Water absorption, water uptake, water affinity, water binding

- مهمترین ویژگی فیزیکی پروتئین ها
- جذب آب بر ساختمان فیزیکی و خصوصیات فرایندی (مانند خشک شدن) ماده غذایی حاوی پروتئین اثر دارد.
- جذب آب با تاثیر بر فعالیت آبی از نقطه نظر فساد ماده غذایی حایز اهمیت است.
- جذب آب در سطح پروتئین از طریق پیوندهای هیدروژنی صورت می گیرد.

جذب آب

- ویژگی های جذب آب پروتئین ها تحت تاثیر عوامل زیر قرار می گیرد:

- pH (به دلیل تغییر در میزان گروههای باردار سطح پروتئین ها)

حداقل جذب آب در pH ایزوالکتریک

در خارج از محدوده pH ایزوالکتریک به دلیل افزایش بار خالص و نیروی دافعه... تورم. پروتئین.. ارتباط بیشتر با آب

- هر عاملی که سبب گسیختگی پیوندهای هیدروژنی شود بر میزان جذب آب اثر منفی دارد.

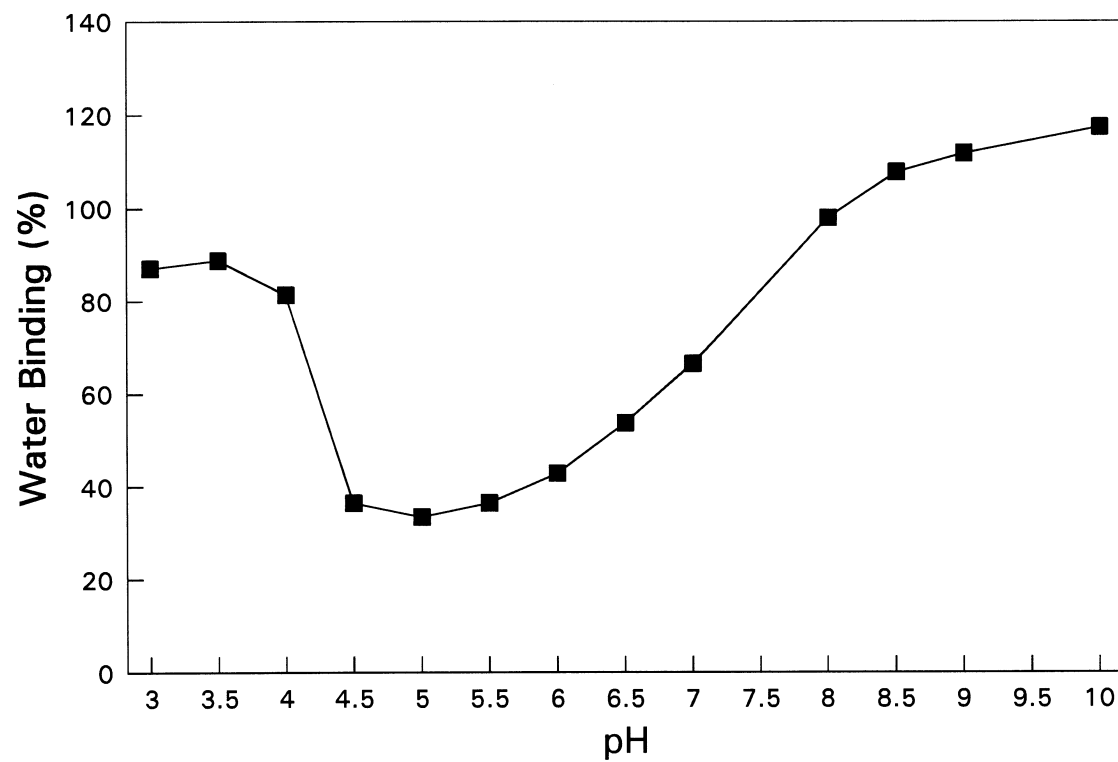
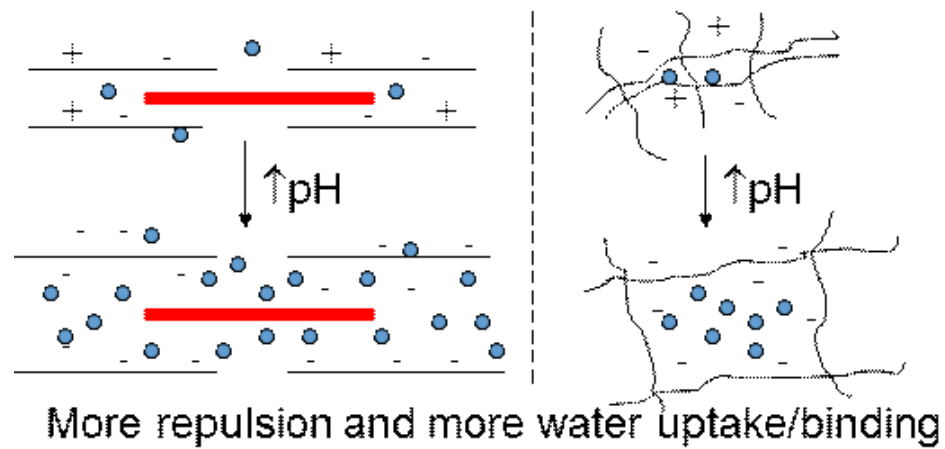
دنا توره شدن بدلیل ظاهر شدن گروه های آبگریز در سطح پروتئین قدرت جذب آب را کاهش می دهد.

در صورتی که پروتئین در حالت طبیعی دارای ساختمان فشرده و در هم باشد و عمل حرارت دادن باعث شود ساختمان به

حدی باز شود که قسمت های آبدوست زنجیره در سطح قرار گیرند، قدرت جذب آب افزایش می یابد.

- نمک ها

در غلظت پایین باعث افزایش اتصال به آب پروتئین ها و در غلظت بالا باعث دهیدراسیون پروتئین ها



WBC or hydration capacity

- گرم آب پیوند یافته به ازای گرم پروتئین وقتی پودر پروتئین خشک با بخار آب در رطوبت نسبی ۹۵-۹۰ درصد در تعادل است.

1. Protein type

- ∞ More hydrophobic = less water uptake/binding
- ∞ More hydrophilic = more water uptake/binding

2. Protein concentration

- ∞ More concentrated = more water uptake

3. Protein denaturation (influence of temperature)

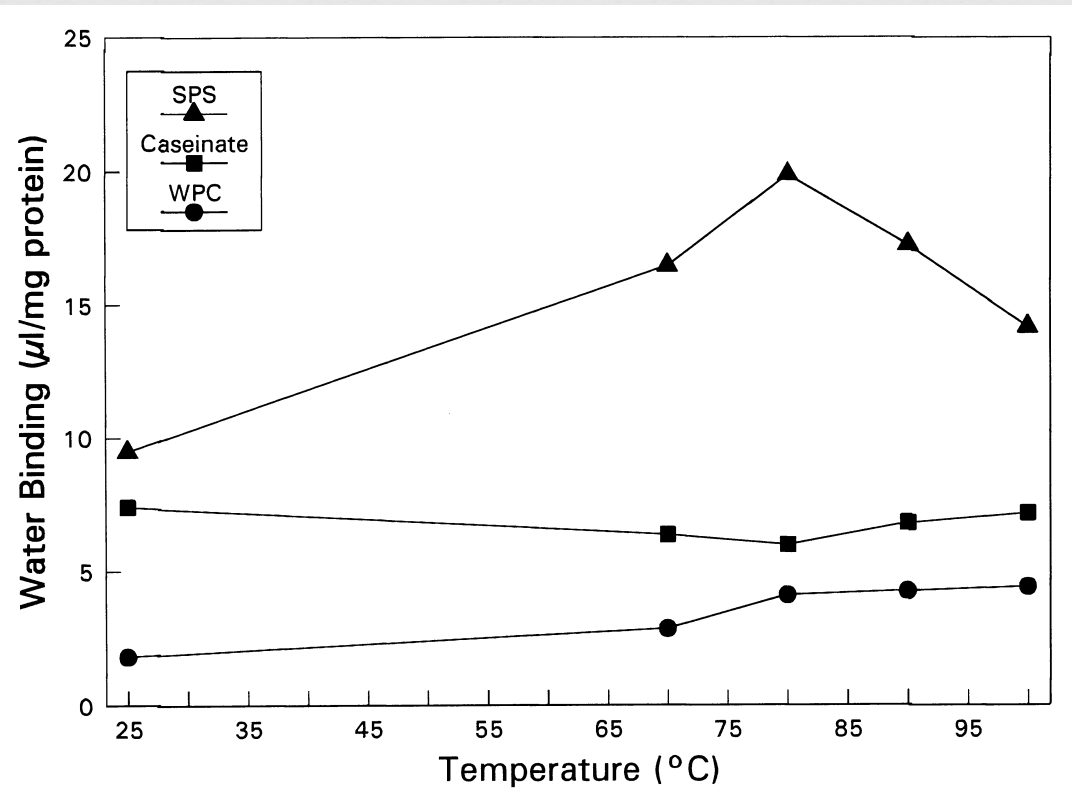
- ∞ Depends - if a protein forms a gel on heating (which denatures the proteins) then it would get more water binding
- ∞ water would be physically trapped in the gel matrix

Example how thermal denaturation may have an effect on water binding

SPS = Soy protein isolate → forms gel on heating

Caseinate = Milk proteins (casein) → does not gel on heating

WPC = Whey protein concentrate → forms gel on heating



WHC or Water Holding Capacity

- توانایی پروتئین در جذب آب و نگهداری آن در برابر نیروی ثقل در داخل ماتریکس پروتئین
- مجموع آب متصل، هیدرودینامیک و آبی که بطور فیزیکی در تله افتاده است.
- بر تردی و بافت محصولات نانوائی و ژله ای و آبداری فراورده های گوشتی اثر دارد.



حلالیت

Solubility

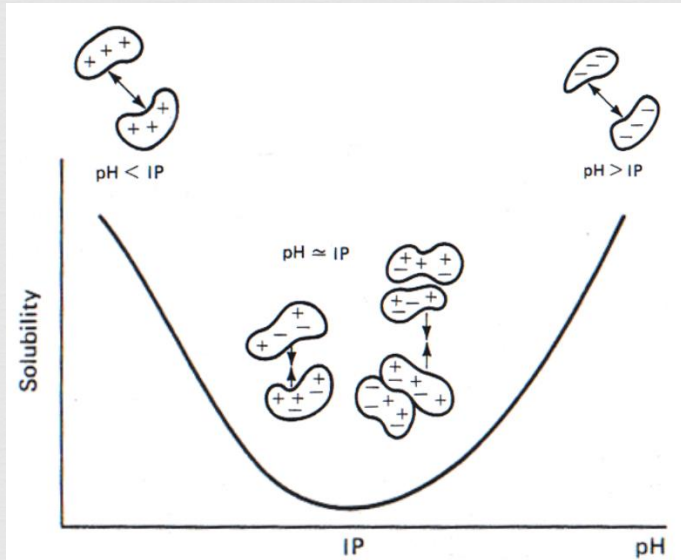
- اغلب ویژگی های عملکردی پروتئین ها (بویژه امولسیون کنندگی و ایجاد کف، تشکیل ژل و...) تحت تأثیر حلالیت قرار می گیرد.
- حلالیت یک عامل ترمودینامیکی است و به تعادل برهمکنش پروتئین-پروتئین و پروتئین-حلال بستگی دارد.
- شرایطی که بر جذب آب پروتئین ها اثر منفی گذارد سبب کاهش حلالیت نیز می شود (شیر خشک کودکان) (البته قانون کلی نیست و همیشه رابطه مستقیمی بین جذب آب و حلالیت وجود ندارد)



- اغلب ویژگی های عملکردی پروتئین ها (بویره امولسیون کنندگی و ایجاد کف، تشکیل ژل و...) تحت تأثیر حلالیت قرار می گیرد.
- حلالیت یک عامل ترمودینامیکی است و به تعادل برهمکنش پروتئین-پروتئین و پروتئین-حلال بستگی دارد.
- شرایطی که بر جذب آب پروتئین ها اثر منفی گذارد سبب کاهش حلالیت نیز می شود (شیر خشک کودکان)
(البته قانون کلی نیست و همیشه رابطه مستقیمی بین جذب آب و حلالیت وجود ندارد)



- پروتئین ها به دلیل وزن مولکولی زیاد خود طبیعتاً پس از انحلال، محلول های کلوئیدی را بوجود می آورند.
 - بطور کلی، پروتئین ها در حلال های قطبی قوی محلول هستند و با کاهش میزان قطبی بودن حلال از مقدار حلالیت آنها کاسته می شود.
 - میزان حل شدن آنها در آب بستگی به pH ، **غلظت نمک** موجود در محیط و **دما** دارد.
 - حداقل حلالیت در pI
- استثنااً آلبومین سرم گاوی و بتالاکتوگلوبولین به دلیل افزایش آمینواسید هیدروفیل در سطح بالاترین حلالیت را در pI دارند.

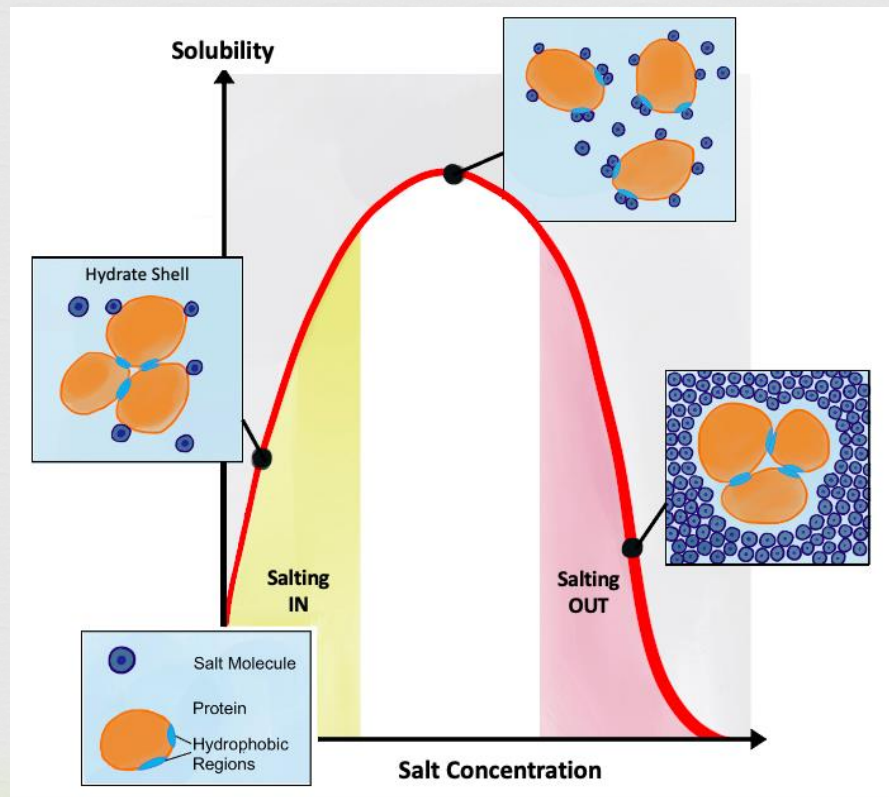


Salting-in

حل شدن توسط نمک = قرار گرفتن یون های نمک در میان زنجیرهای پروتئینی و جلوگیری از برقراری پیوند بین زنجیره ها

Salting-out

کاهش حلالیت و راسب شدن توسط نمک = خروج با نمک به دلیل دسترسی محدود پروتئین به مولکول های آب
به دلیل جذب آب توسط تعداد بسیار زیادی یون های نمک



اثر غلظت نمک

عملیات حرارتی

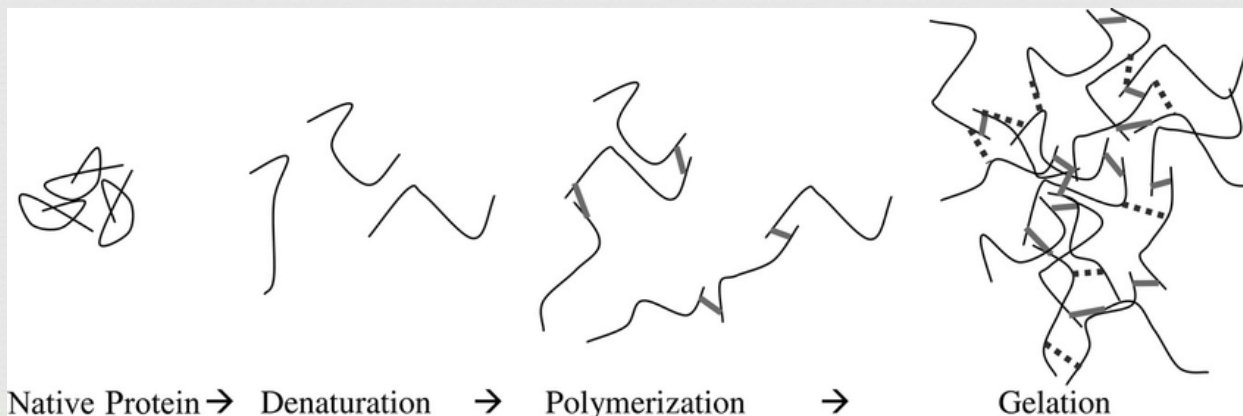
- خشک کردن مواد غذایی در دمای بالا با خروج مقدار زیادی آب سبب تجمع زنجیره های پروتئینی می گردد.
- در خشک کردن انجمادی که با تشکیل ساختمان خلل و فرج دار در مواد غذایی همراه است با حلالیت بهتر و بیشتر پروتئین ها همراه است.
- در pH و قدرت یونی ثابت عموماً حلالیت با افزایش دما تا ۴۰ درجه سانتی گراد افزایش می یابد و در دماهای بالاتر با دناتوراسیون حرارتی حلالیت به علت افزایش آبگریزی سطح کاهش می یابد.
- استفاده از آنزیم و هیدرولیز محدود پروتئین ها سبب بهبود حلالیت می شود. (بدلیل کوچکتر شدن اندازه زنجیره پروتئینی و اضافه شدن گروههای آب دوست همراه با جذب بهتر آب)

ویسکوزیته

- جذب آب توسط پروتئین... اتصال و پیوستن زنجیره های پروتئینی... افزایش اندازه... افزایش ویسکوزیته
 - پروتئین ها جزو گروه مواد شبه پلاستیک هستند. (افزایش نیروی برشی... کاهش ویسکوزیته)
- از بین رفتن اتصال زنجیره ها و منظم قرار گرفتن مولکول ها در جهت اعمال نیروی برش

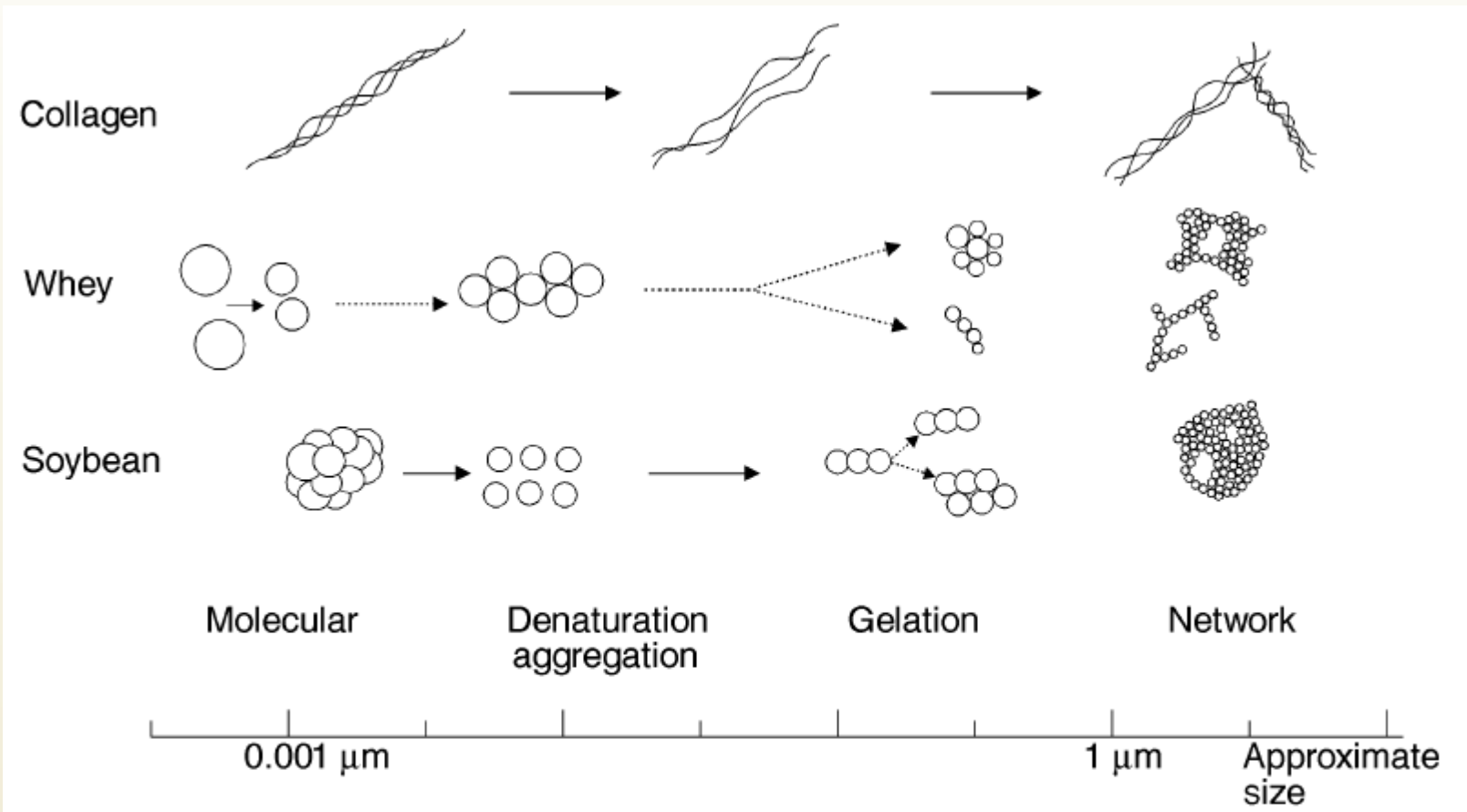
تشکیل ژل

- ژل فاز انتقالی بین جامد و مایع است
- پلیمرها با اتصالات عرضی از طریق پیوندهای کووالانسی و یا غیرکووالانسی تشکیل شبکه ای را می دهند که توانایی به دام انداختن آب و سایر مایعات با وزن مولکولی پایین را دارد.
- تشکیل ژل توسط پروتئین تبدیل از حالت سل به ژل است (با کمک حرارت، آنزیم یا کاتیون های دو ظرفیتی)
- در تشکیل ژل با حرارت دادن ابتدا پروتئین از حالت سل بوسیله دناتوراسیون به حالت پروژل (مایع ویسکوز با درجه ای از پلیمریزه شدن) تبدیل می شود.



Food protein gels may be classified in various ways.

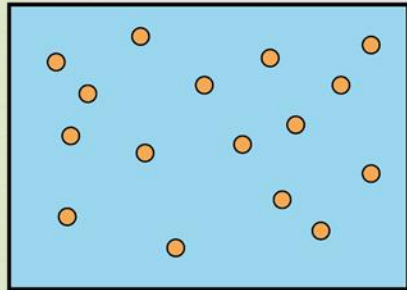
According to the supramolecular structure they may be either true cross-linked polymer networks or particle gels consisting of strands or clusters of aggregated protein.



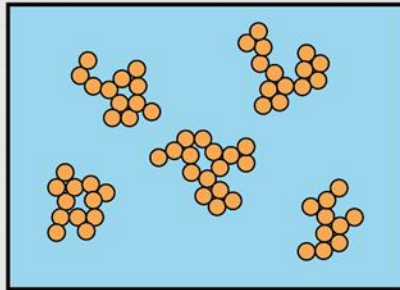
Common methods for destabilization:

- **Heat** –protein denaturation, hydrophobic protein core exposure (e.g., cooking eggs);
- **pH alteration** to protein isoelectric point to minimize inter-protein electrostatic repulsion (e.g., yogurt);
- **Ion addition-** or in some cases adding calcium to bind certain amino acid residues (e.g., forming a tofu gel);
- **Intermolecular covalent bonds formation** (e.g., forming gluten while kneading bread).

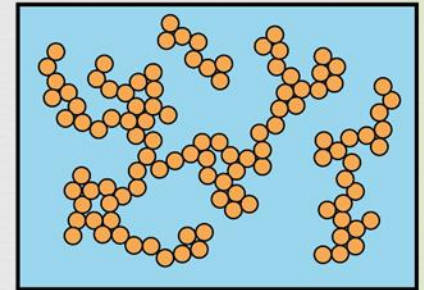
Sol



Aggregation

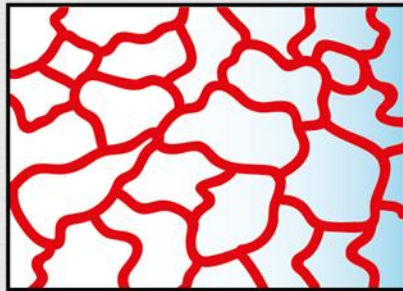


Gelation

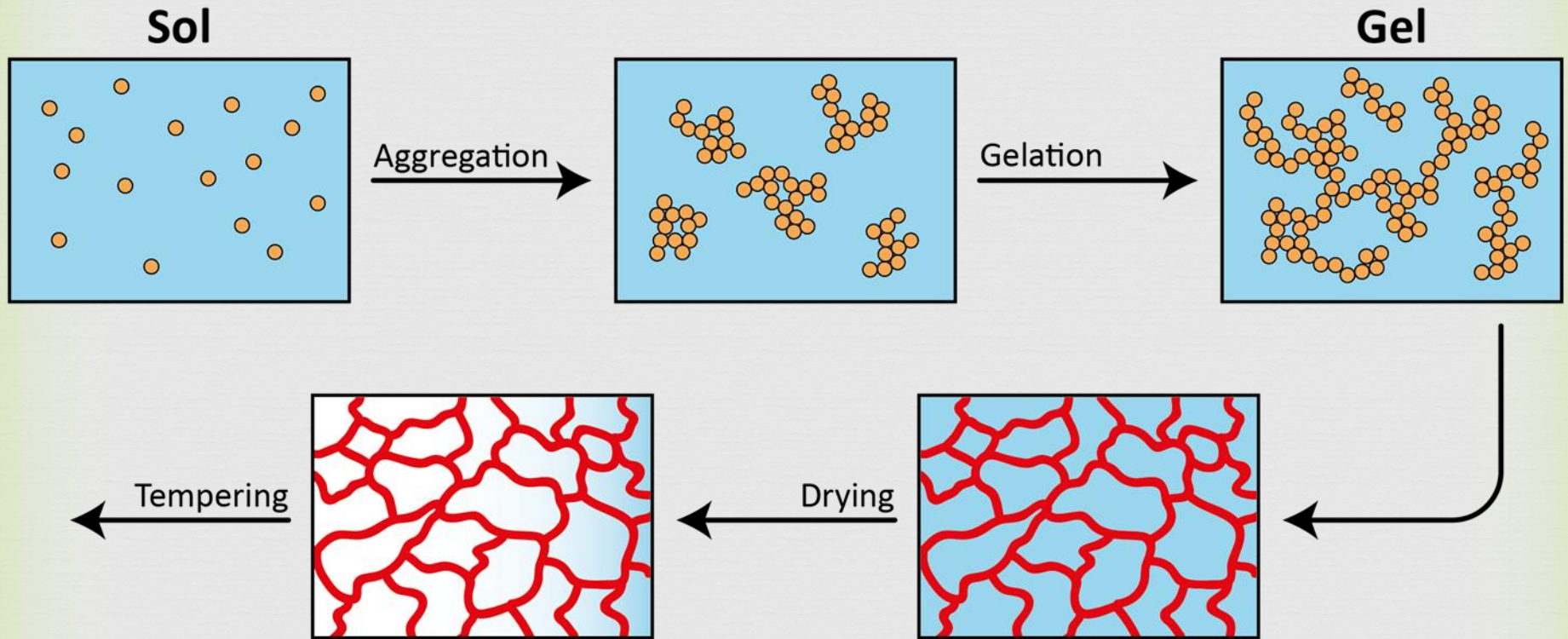
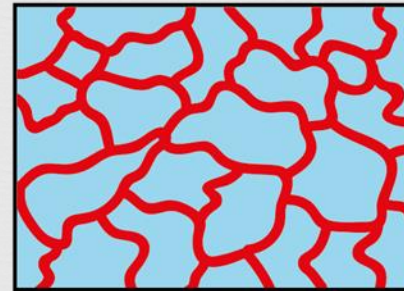


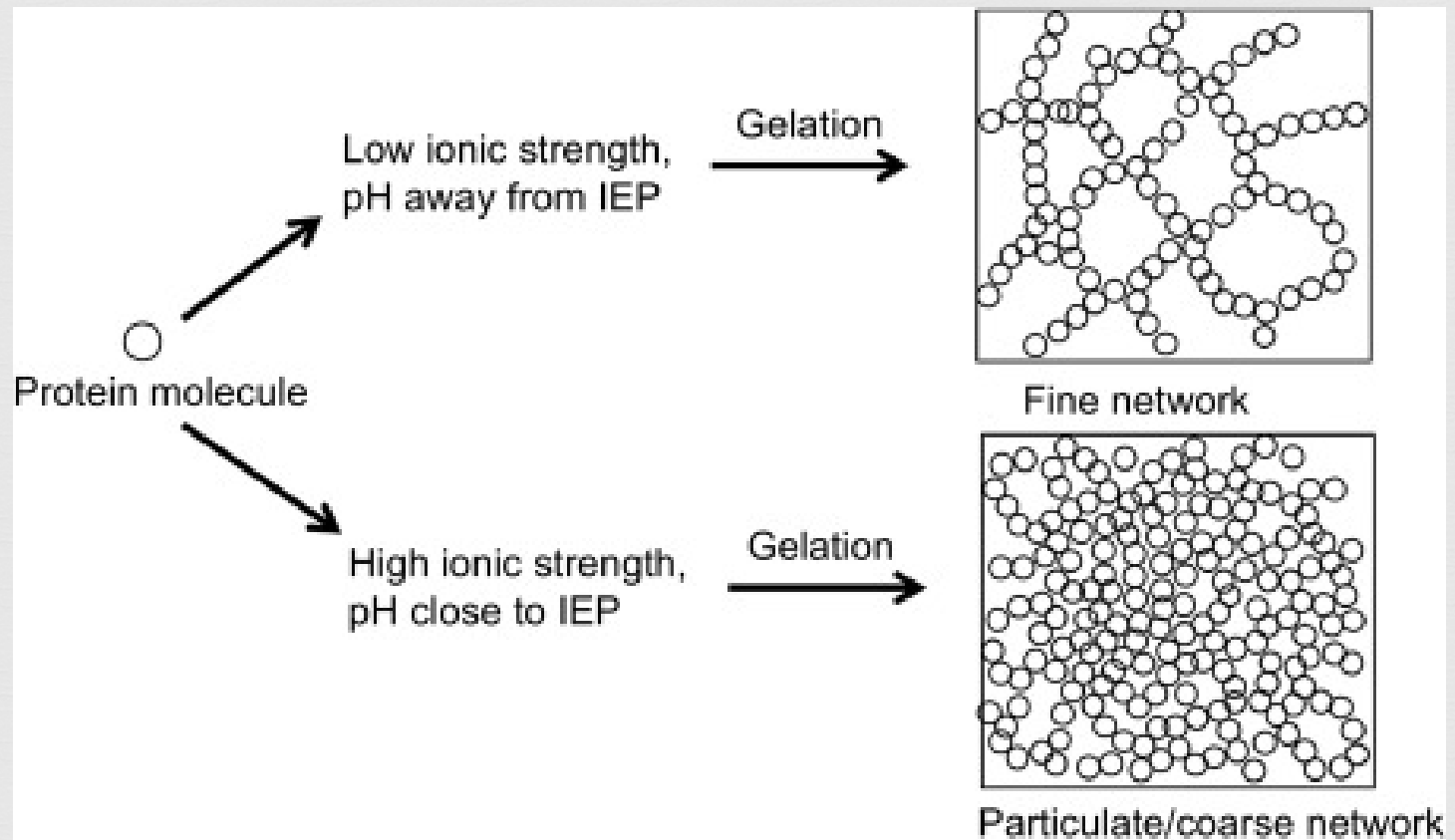
Gel

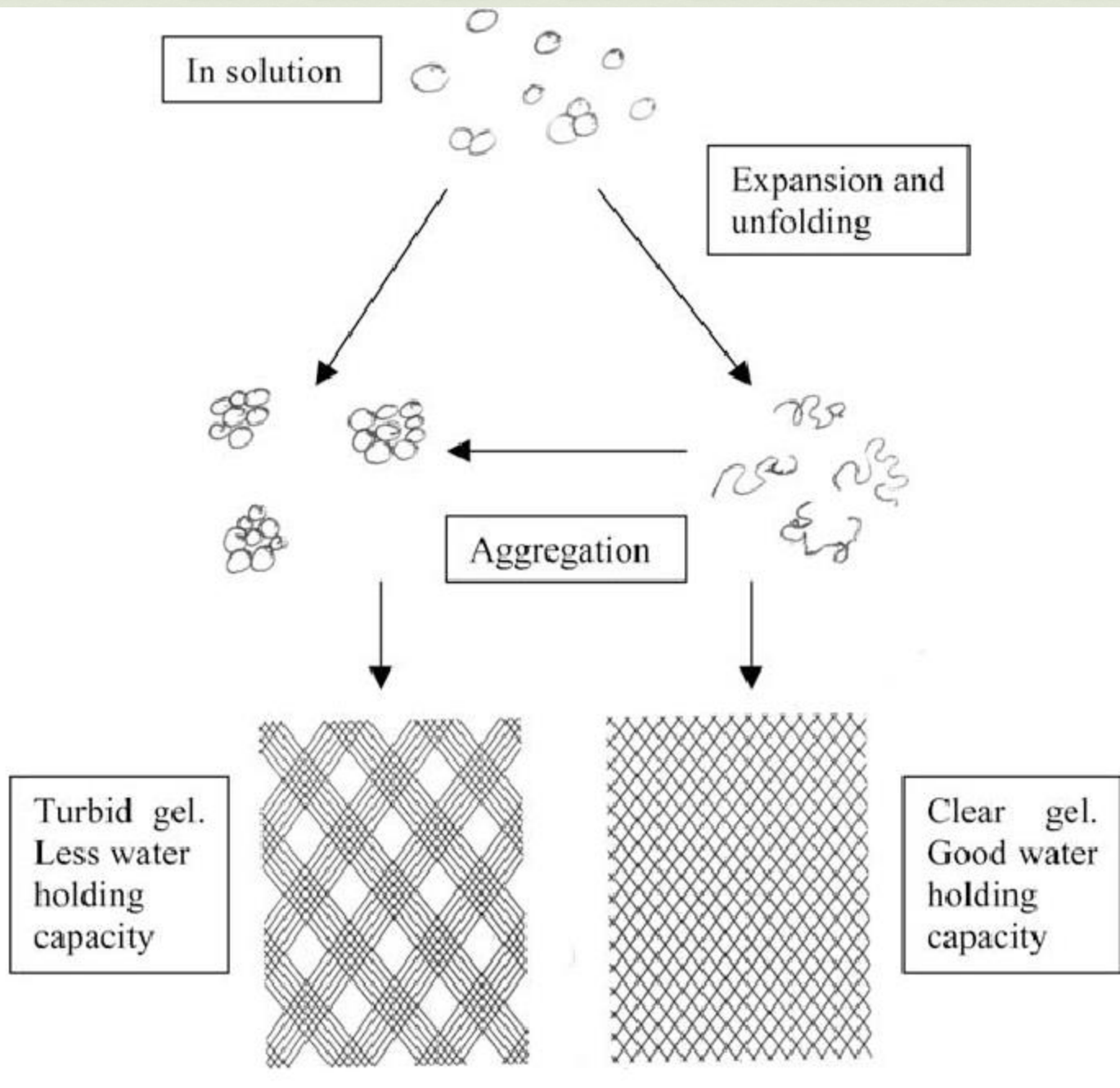
Tempering



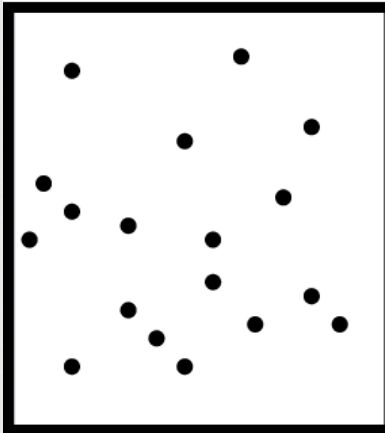
Drying



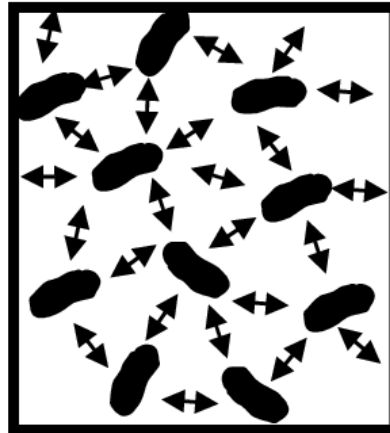




Aqueous solution of whey protein isolate

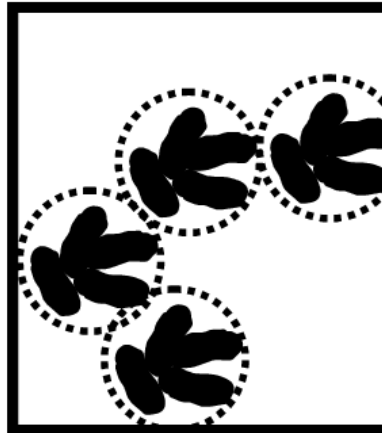


Heat-induced formation of repulsive WPI-aggregates



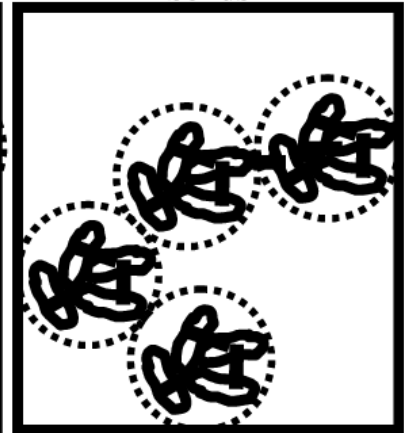
$\text{pH} > \text{pI}$

Percolation of clusters of aggregates

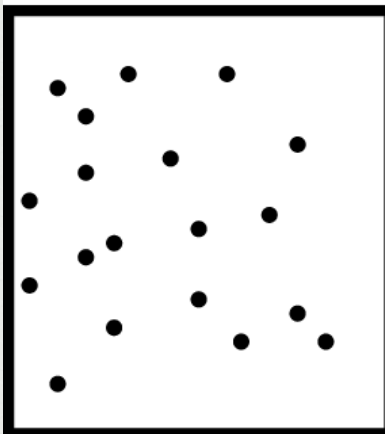


pI

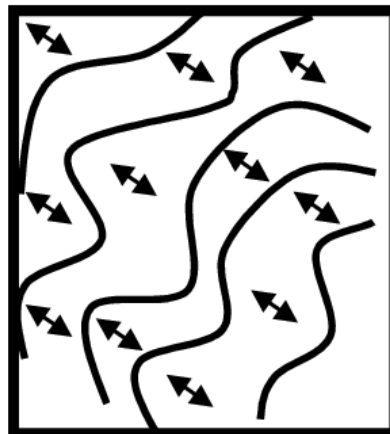
Gel hardening by formation of disulfide bonds



pI



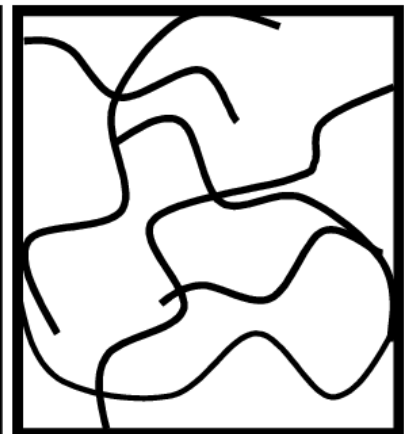
Aqueous solution of ovalbumin



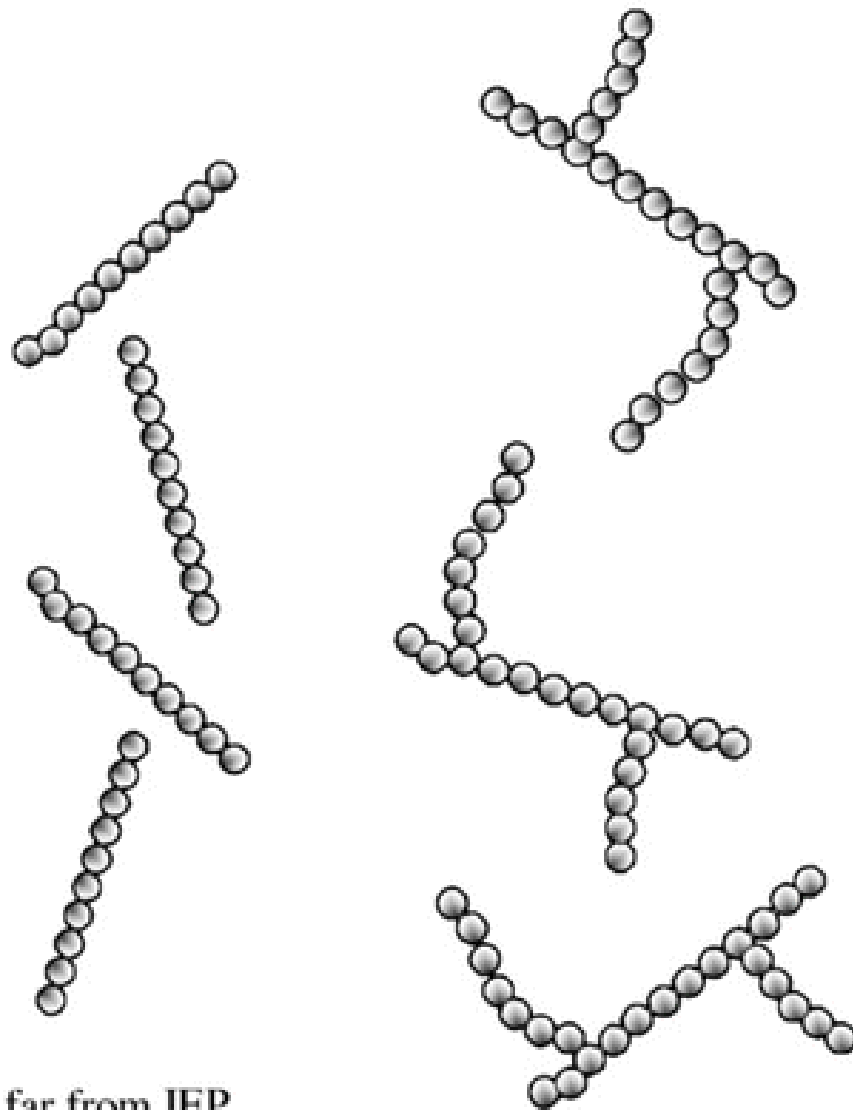
Heat-induced formation of repulsive ovalbumin aggregates



Percolation of linear aggregates

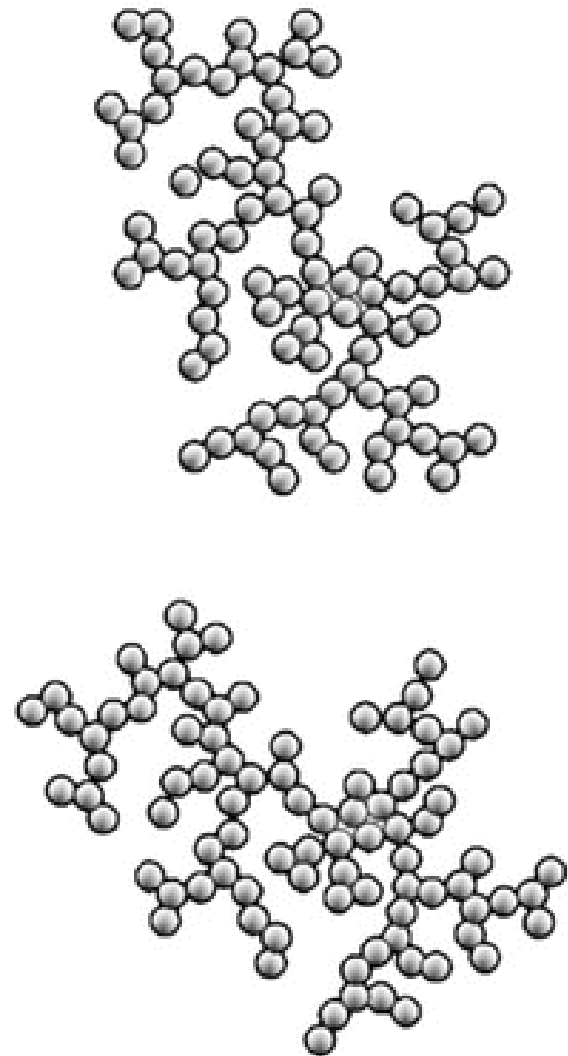


Gel hardening by structural rearrangements



pH far from IEP

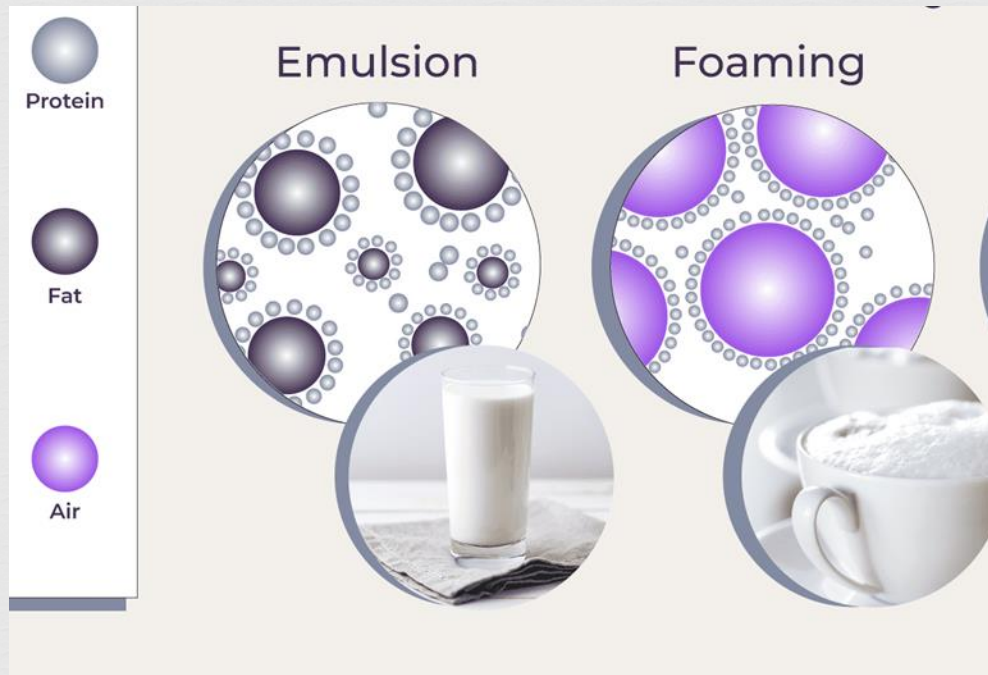
increasing ionic strength



pH close to IEP

فعالیت سطحی پروتئین ها

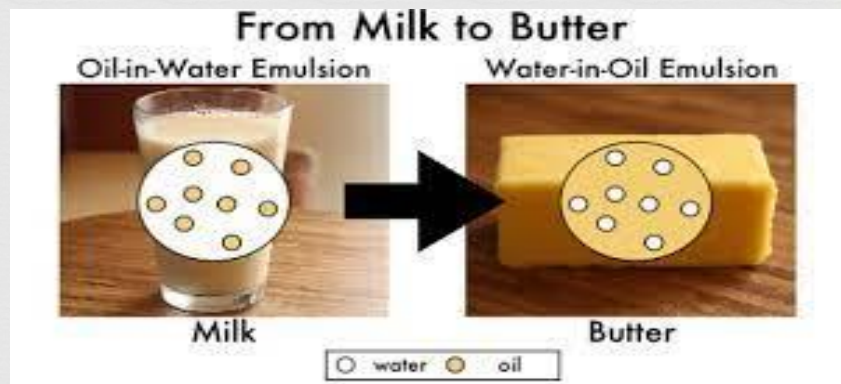
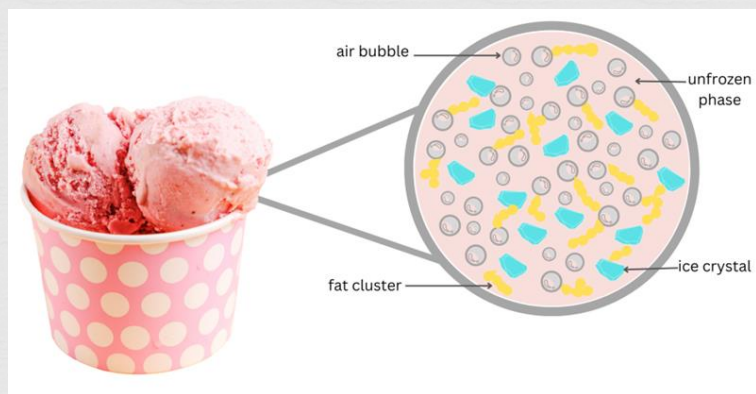
- ویژگی کف کنندگی
- ویژگی امولسیون کنندگی
- غذاهای فراوری نشده یا فراوری شده متعددی بصورت امولسیون یا کف هستند.
- این سامانه ها غیرپایدار هستند مگر اینکه ماده آملی فیل (دوگانه دوست) مناسبی در سطح مشترک دوفاز ((آب- هوا در کف) و (آب- روغن در امولسیون)) وجود داشته باشد.



فعالیت سطحی پروتئین ها

- ویژگی امولسیون کنندگی

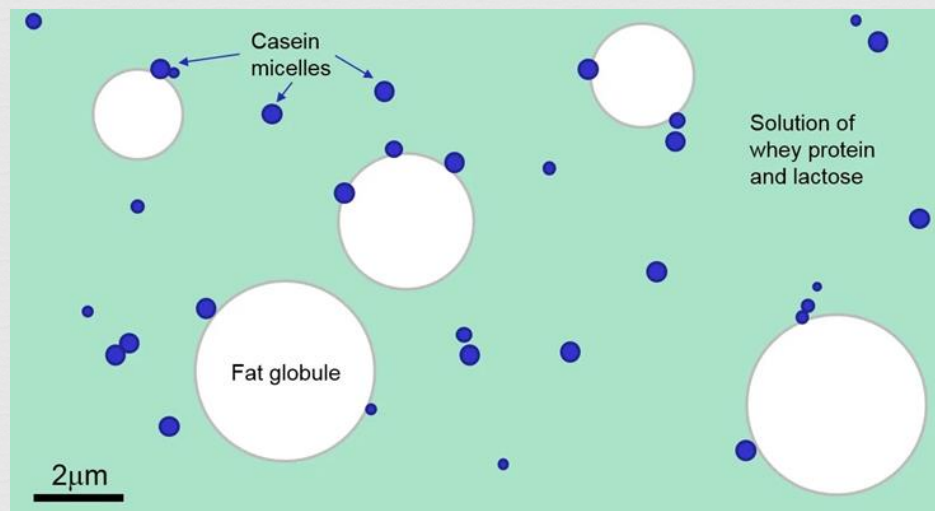
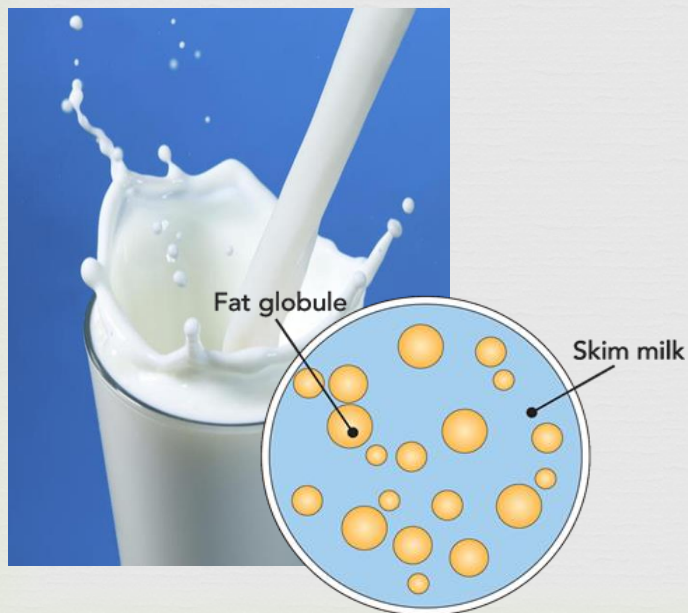
- پروتئین ها به دلیل داشتن بخش های آبدوست و آبگریز در مولکول خود به منزله امولسیون کننده (امولسیفایر) میان دو جزء غذایی که هر یک دارای یکی از این دو ویژگی هستند، عمل می کنند.
- شیر، زرده تخم مرغ، کره، مایونز، اسپردها، سس ها، دسرهای منجمد و سوسیس محصولات از نوع امولسیون هستند که پروتئین ها نقش امولسیفایر دارند.



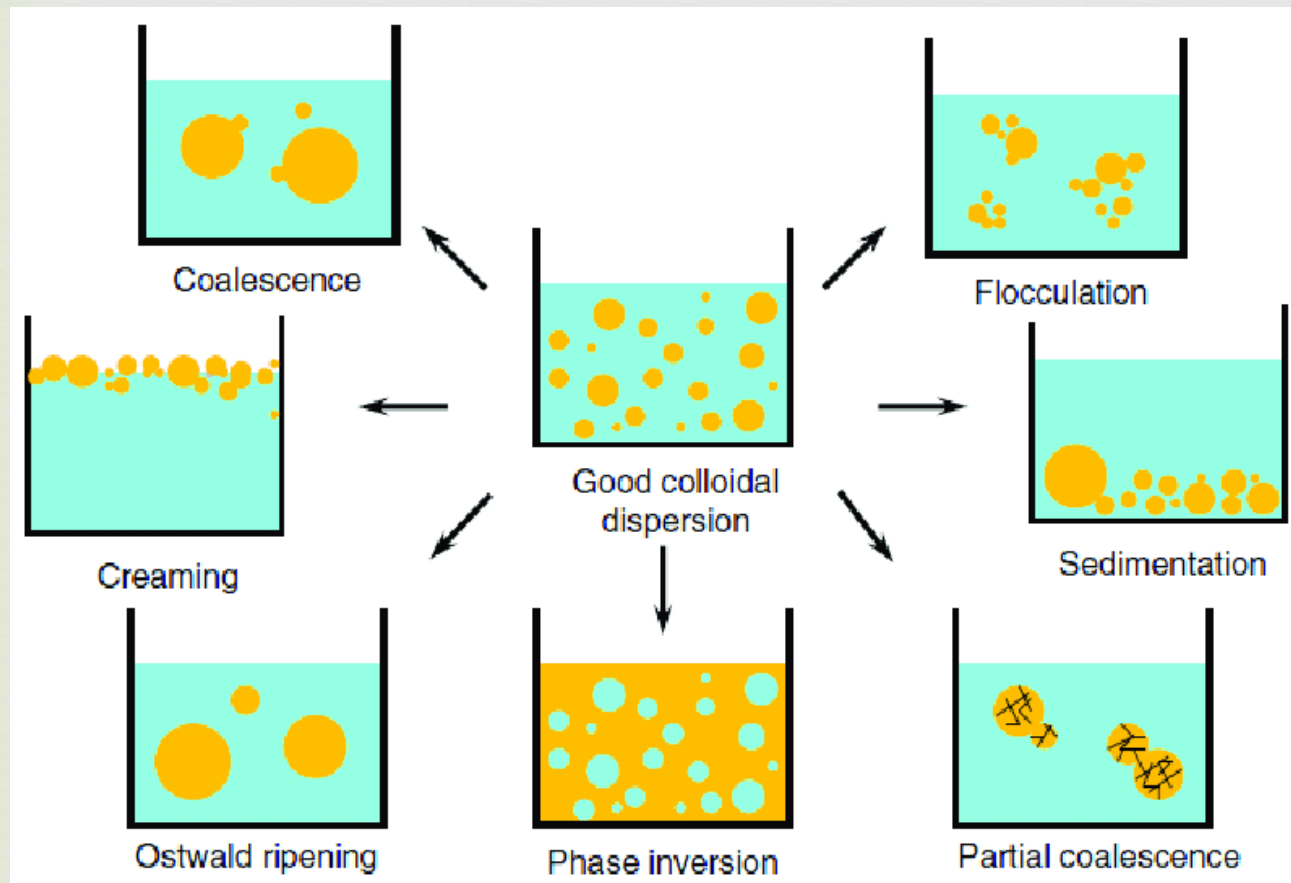
فعالیت سطحی پروتئین ها

- ویژگی امولسیون کنندگی

- در شیر پراکندگی گلبولهای چربی در فاز آبی و پایدار ماندن آن ها در این حالت توسط پروتئین های موجود در سطح غشای این گلبول ها (لیپوپروتئین ها) تامین می شود.
- در شیر هموژنیزه (همگن شده) که گلبول ها شکسته می شوند و غشا آسیب می بیند لیپوپروتئین ها دیگر نقش پایدار کننده ندارند و پروتئین کازئین در سطح گلبول چربی قرار می گیرند و پایداری سیستم را فراهم می کند.



عوامل موثر بر پایداری امولسیون



- pH
- قدرت یونی
- دما
- نوع پروتئین
- حجم فاز روغنی
- نقطه ذوب روغن
- تجهیزات و سرعت همزدن

فعالیت سطحی پروتئین ها

- ویژگی امولسیون کنندگی

- پروتئین هایی که حلالیت بالایی در pH ایزوالکتریک دارند (آلبومین، ژلاتین و پروتئین سفیده تخم مرغ) حداکثر پایداری و ظرفیت امولسیون کنندگی را در pI دارند.
- اغلب پروتئین های غذایی (کازئین، پروتئین آب پنیر، پروتئین گوشت و پروتئین سویا) در pH ایزوالکتریک حلالیت خیلی کمی دارند و کم هیدراته می شوند بنابراین امولسیفایرهای خوبی در pI نیستند. وقتی از pI دور می شوند می توانند امولسیفایرهای موثری باشند.
- شکل --- اثر pH و غلظت های مختلف نمک کلرید سدیم بر ظرفیت امولسیون کنندگی ایزوله پروتئین بادام زمینی

فعالیت سطحی پروتئین ها

- ویژگی امولسیون کنندگی

- پروتئین هایی که حلالیت بالایی در pH ایزوالکتریک دارند (آلبومین، ژلاتین و پروتئین سفیده تخم مرغ) حداکثر پایداری و ظرفیت امولسیون کنندگی را در pI دارند.
- اغلب پروتئین های غذایی (کازئین، پروتئین آب پنیر، پروتئین گوشت و پروتئین سویا) در pH ایزوالکتریک حلالیت خیلی کمی دارند و کم هیدراته می شوند بنابراین امولسیفایرهای خوبی در pI نیستند. وقتی از pI دور می شوند می توانند امولسیفایرهای موثری باشند.
- شکل --- اثر pH و غلظت های مختلف نمک کلرید سدیم بر ظرفیت امولسیون کنندگی ایزوله پروتئین بادام زمینی

فعالیت سطحی پروتئین ها

- ویژگی امولسیون کنندگی

- دناتوراسیون جزئی (بازشدن) پروتئین ها که موجب نامحلول شدن نشود، معمولا ویژگی های امولسیفایری پروتئین ها را بخاطر افزایش انعطاف پذیری مولکولی و هیدروفوبیسیته سطحی بهبود می دهد.
- پروتئولیز محدود افزایش خاصیت امولسیون کنندگی پروتئین ها (به علت بهبود حلالیت و سهولت پخش شدن در سطح مشترک)
- نیروی مکانیکی شدید

پروتئین های شیر



Concentration of proteins in milk

	Conc. in milk g/kg	% of total protein w/w
Casein		
α_{s1} -casein*)	10.0	30.6
α_{s2} -casein*)	2.6	8.0
β -casein**)	10.1	30.8
κ -casein	3.3	10.1
Total Casein	26.0	79.5
Whey Proteins		
α -lactalbumin	1.2	3.7
β -lactoglobulin	3.2	9.8
Blood Serum Albumin	0.4	1.2
Immunoglobulins	0.7	2.1
Miscellaneous (including Proteose-Peptide)	0.8	2.4
Total Whey Proteins	6.3	19.3
Fat Globule Membrane Proteins	0.4	1.2
Total Protein	32.7	100

*) Henceforth called α_s -casein

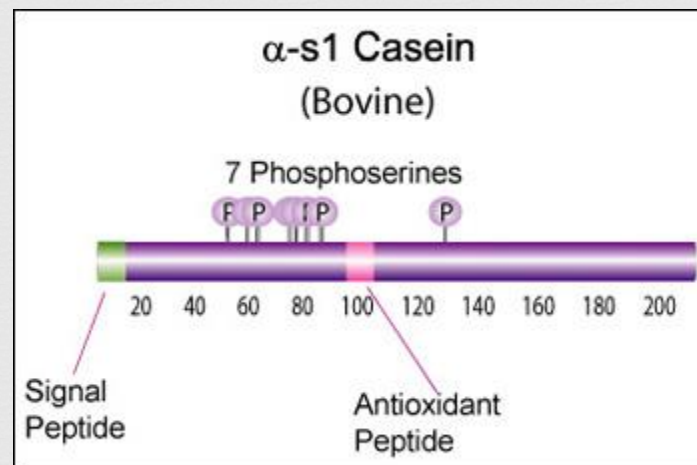
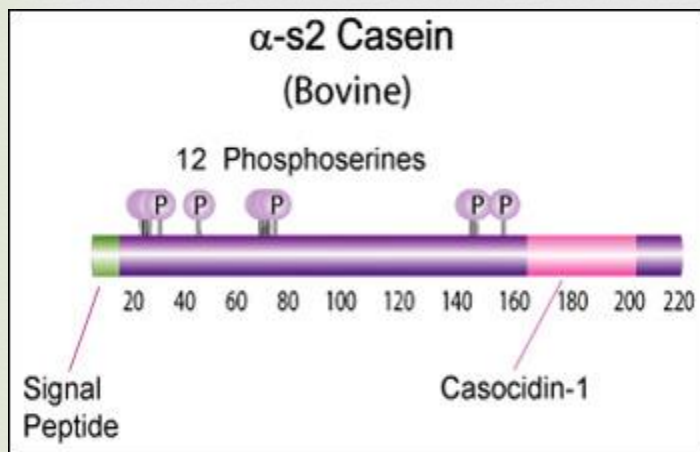
***) Including γ -casein

Ref: Walstra & Jennis

گاما کازئین بخش کربوکسیل انتهایی بتاکازئین است که
در اثر پروتئولیز از آن جدا می شود.

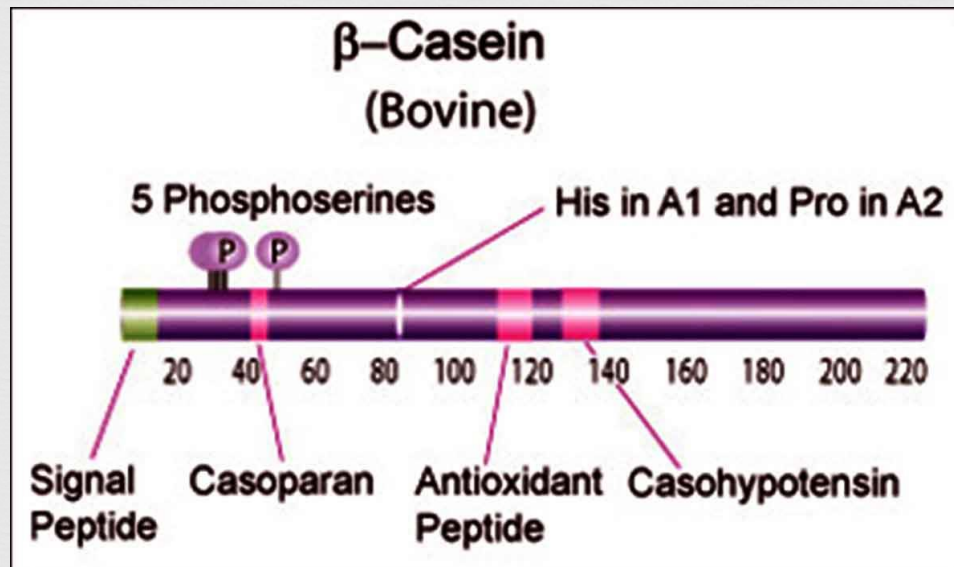
α Casein

- **آلفا کازئین تحت عنوان α_s مشخص می شود.**
- **شامل چند جز بوده و بیشترین مقدار مربوط به α_{s1} است.**
- **وزن مولکولی ۲۳۰۰۰ دالتون می باشد.**
- **گروه فسفات در این جزء به کلسیم متصل است و بنابراین آمادگی رسوبدهی با کلسیم را دارد. (اهمیت در پنیرسازی)**



β Casein

- **بتا کازئین** حدود ۳۰ تا ۳۵ درصد کازئین ها را تشکیل می دهد.
- یک زنجیره پروتئینی با وزن مولکولی ۲۴۰۰۰ دالتون می باشد.
- دارای ۲۰۹ آمینواسید
- در پایانه N از اسید آمینه ۱ تا ۴۳ ویژگی های آبدوستی در زنجیره وجود دارد.
- در پایانه C از اسید آمینه ۱۳۶ تا ۲۰۹ خصوصیات آبگریزی برقرار است.
- خاصیت امولسیون کنندگی خوب



Concentration of proteins in milk

	Conc. in milk g/kg	% of total protein w/w
Casein		
α_{s1} -casein*)	10.0	30.6
α_{s2} -casein*)	2.6	8.0
β -casein**)	10.1	30.8
κ -casein	3.3	10.1
Total Casein	26.0	79.5
Whey Proteins		
α -lactalbumin	1.2	3.7
β -lactoglobulin	3.2	9.8
Blood Serum Albumin	0.4	1.2
Immunoglobulins	0.7	2.1
Miscellaneous (including Proteose-Peptide)	0.8	2.4
Total Whey Proteins	6.3	19.3
Fat Globule Membrane Proteins	0.4	1.2

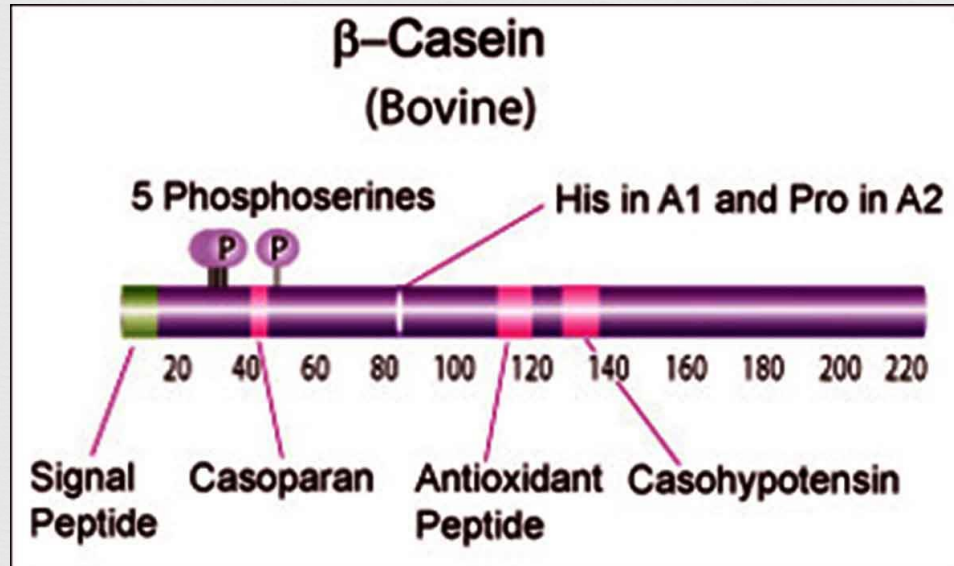
گاما کازئین بخش کربوکسیل انتهایی بتاکازئین است که در اثر پروتئولیز از آن جدا می شود.

**) Including γ -casein

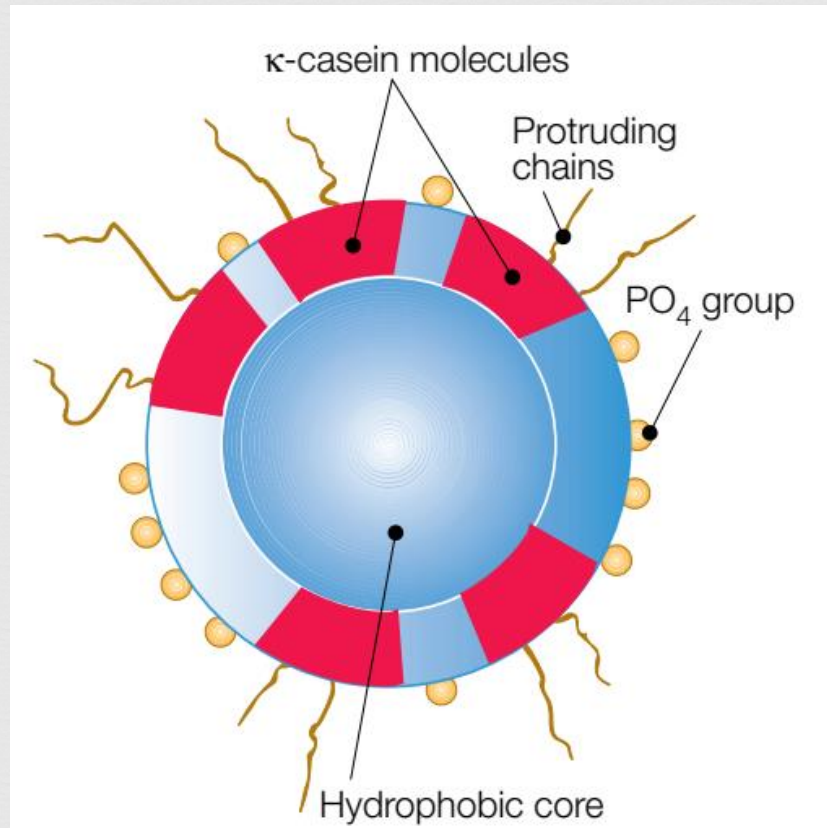
Ref: Walstra & Jennis

κ Casein

- **کاپا کازئین** حدود ۱۰ تا ۱۵ درصد کازئین ها را تشکیل می دهد.
- یک زنجیره پروتئینی با وزن مولکولی ۱۹۰۰۰ دالتون می باشد.
- منومرها از طریق پیوند دی سولفیدی پلیمرهایی با وزن مولکولی چندصد هزار دالتون را تشکیل می دهند.
- کمترین حساسیت به کلسیم و نقش حفاظتی روی $\alpha s1$ در مقابل کلسیم دارد.
- ترتیب حساسیت به کلسیم: $\alpha s2 > \alpha s1 > \beta > \kappa$

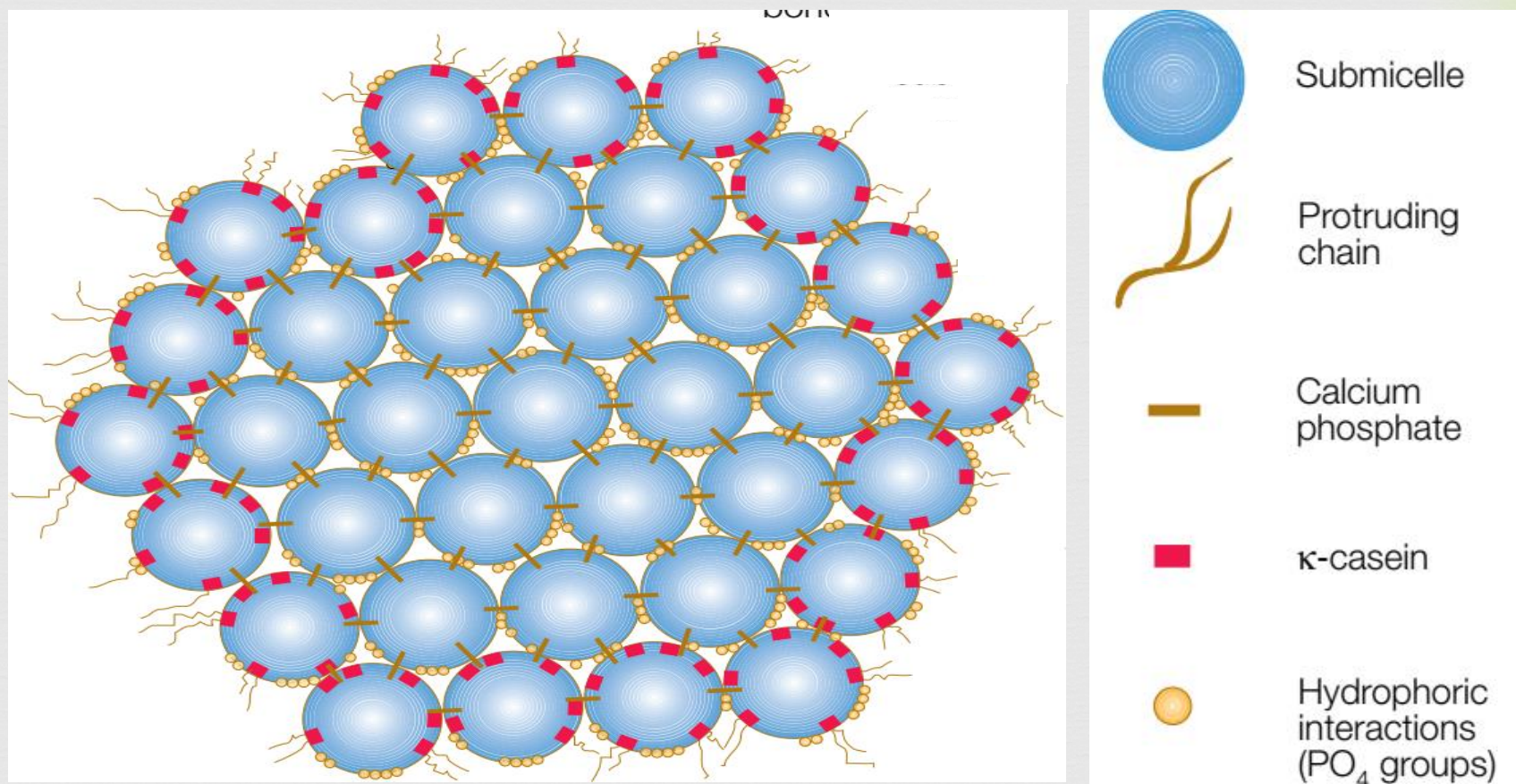


ساختمان تک میسل



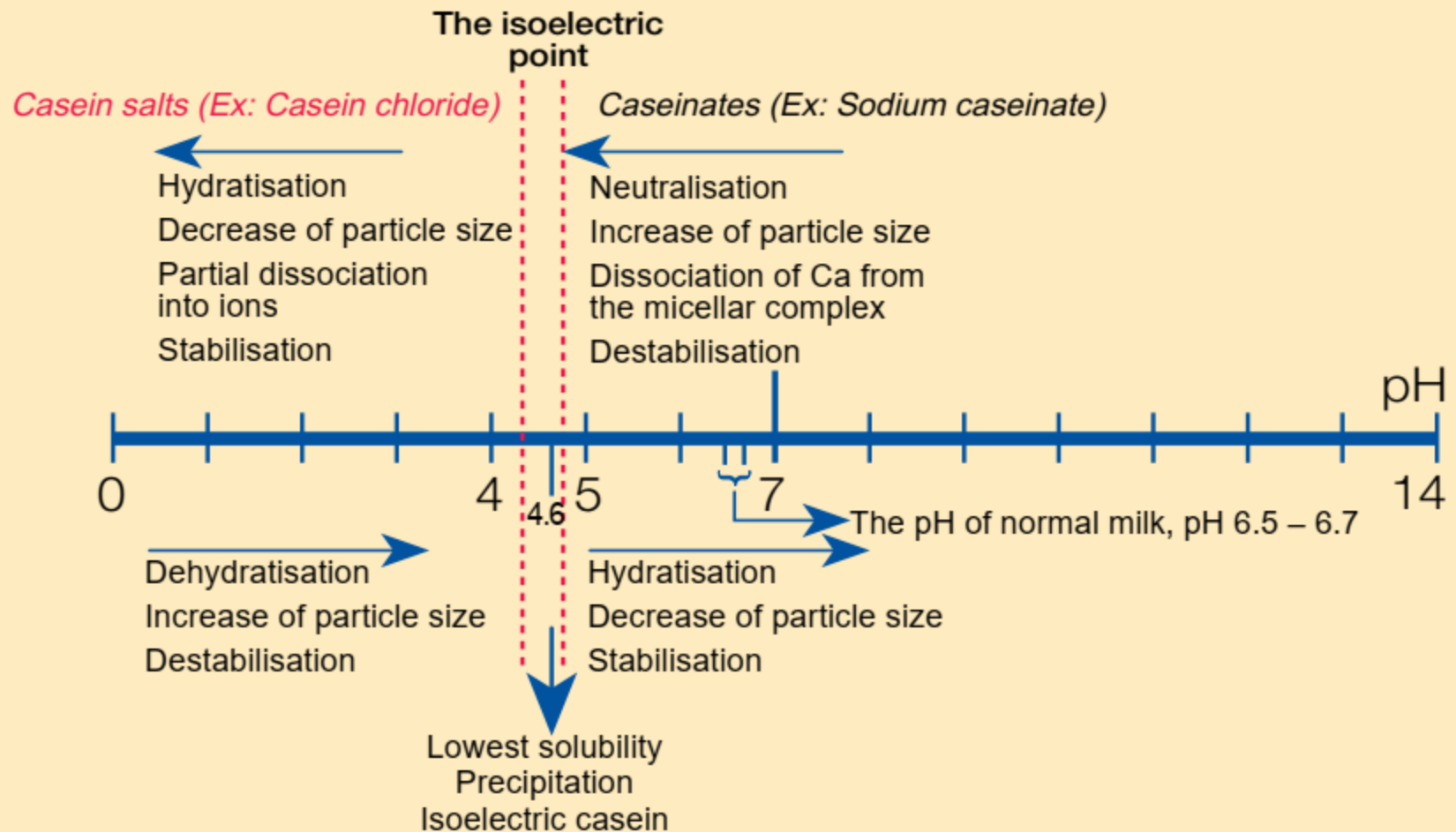
- کازئین بصورت میسل های کلوئیدی کروی بزرگ (۹۳٪) همراه با فسفات کلسیم (۷٪) می باشد.
- فسفر بصورت استرهای منوفسفات گروههای هیدروکسیل سرین و ترئونین می باشد.
- میسل های کازئین علت اصلی رنگ سفید شیر پس چرخ هستند.
- علت اینکه کازئین ها با وجود کلسیم در شیر و حساسیت آنها رسوب نمی کنند حضور میسل گونه آنها و قرارگیری کاپا کازئین در سطح میسل ها است.

میسل اصلی یا مجموعه میسلی



- هر میسل کازئینی از چندین ساب میسل (زیر میسل) تشکیل می شود.
- زیر میسل های غنی از آلفا و بتا کازئین در داخل میسل کازئین قرار دارند.
- زیر میسل های غنی از کاپا کازئین در سطح میسل قرار می گیرند.
- زیر میسل های کازئین از طریق فسفات کلسیم بهم متصل می شوند و میسل کامل را تشکیل می دهند.

- pH طبیعی شیر بین ۵/۶ تا ۶/۷ است.
- اگر pH کاهش یابد، کازئین ها در نقطه ایزوالکتریک آن در pH=۴/۶ رسوب می کنند.
-



Concentration of proteins in milk

Conc. in milk
g/kg

% of total
protein
w/w

• ماده پروتئینی که بعد از رسوب کازئین باقی می ماند، پروتئین سرم یا آب پنیر Whey است.

• پایدار در برابر اسید و حساس نسبت به حرارت

• در صورتی که مقدار پروتئین های سرم شیر از حدی بیشتر باشد، نوعی اثر حفاظتی روی کازئین ظاهر می شود و از انعقاد آن توسط اسید جلوگیری می کند.

• شیرهای آغوزی یا شیرهای مراحل آخر دوشش یا شیرهای عفونی در جریان تولید پنیر ایجاد مشکل می کنند.

• ایمونوگلوبولین... گلیکوپروتئین

Whey Proteins

α -lactalbumin

1.2

3.7

β -lactoglobulin

3.2

9.8

Blood Serum Albumin

0.4

1.2

Immunoglobulins

0.7

2.1

Miscellaneous (including

Proteose-Peptide)

0.8

2.4

Total Whey Proteins

6.3

19.3

Fat Globule Membrane Proteins

0.4

1.2

Total Protein

32.7

100

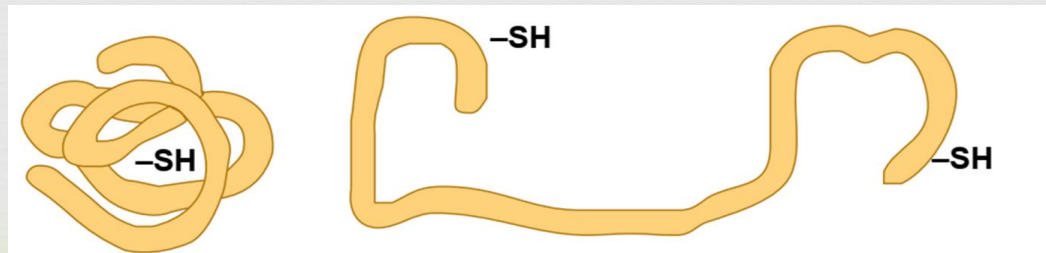
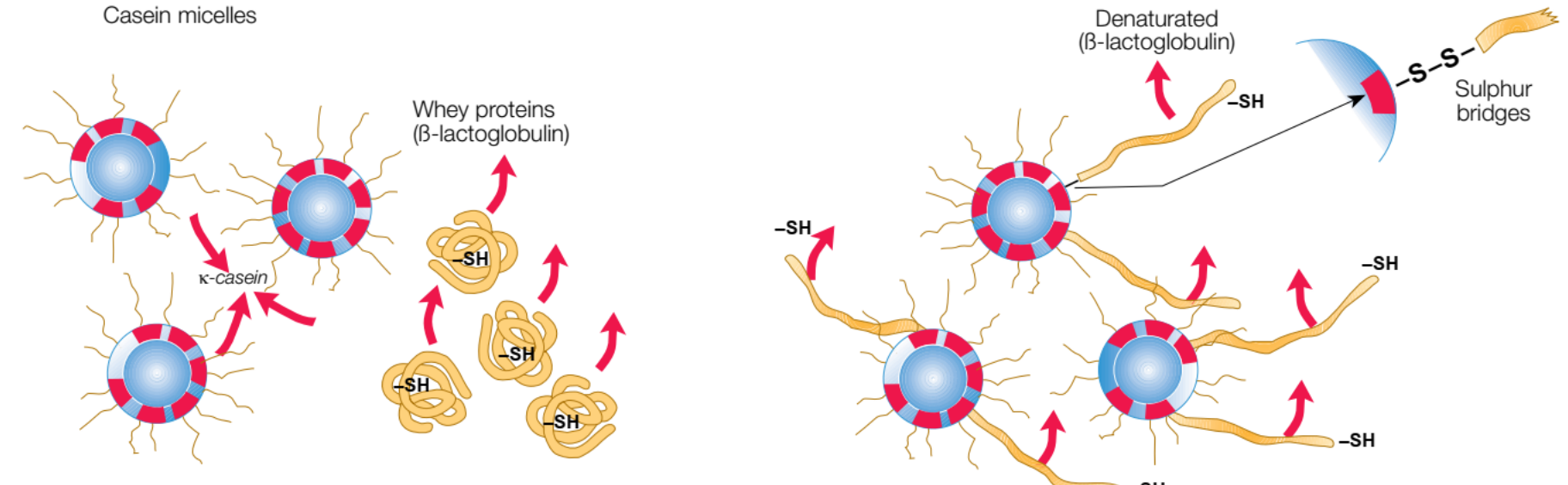
*) Henceforth called α_s -casein

**) Including γ -casein

Ref: Walstra & Jennis

- بوی پختگی شیر جوشیده ناشی از اثر حرارت روی گروههای سولفیدریل پروتئین های سرم همراه با آزاد شدن SH2 است.
- بتالاکتوگلوبولین دارای سیستئین است و این حالت در آن ایجاد می شود.

Milk heated at 75°C for 20 – 60 seconds will start to smell and taste “cooked”. This is due to release of sulphurous compounds from β -lactoglobulin and other sulphur-containing proteins.



پروتئین های گوشت



Meat Composition

73% Water

21% Protein

5% Fat

1% Mineral



50-55%

Myofibrillar

- myosin, actin
- tropomyosin, troponins

30-35%

Sarcoplasmic

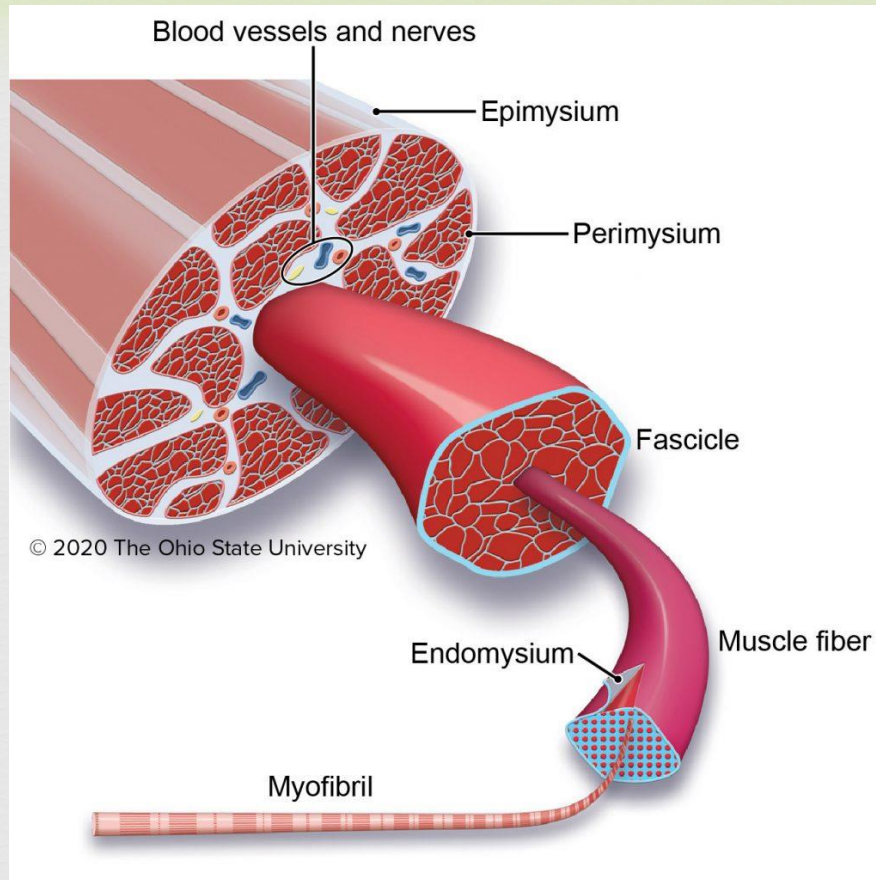
- enzymes

15-20%

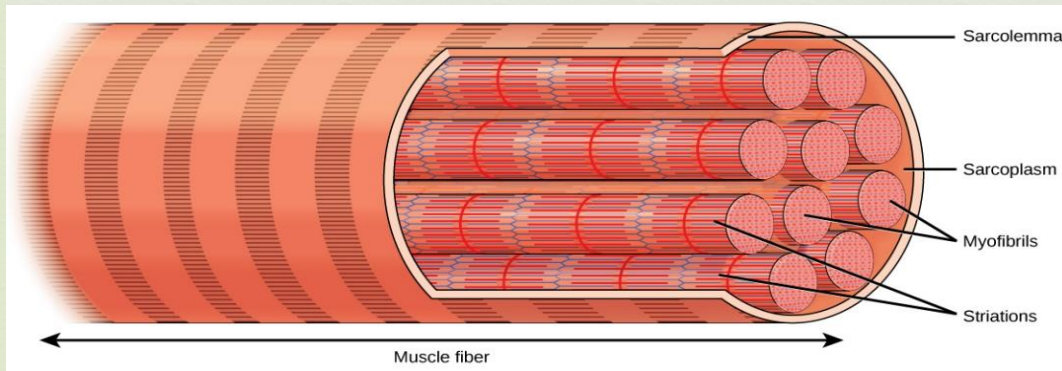
Stromal

- collagen
- elastin

Muscle proteins

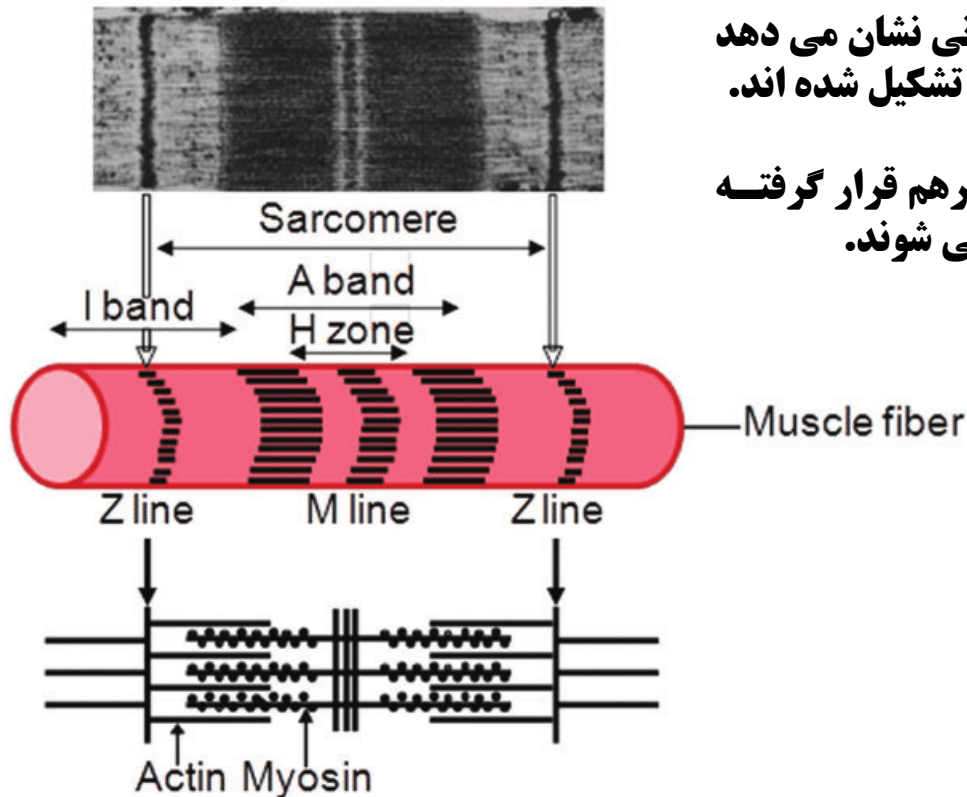


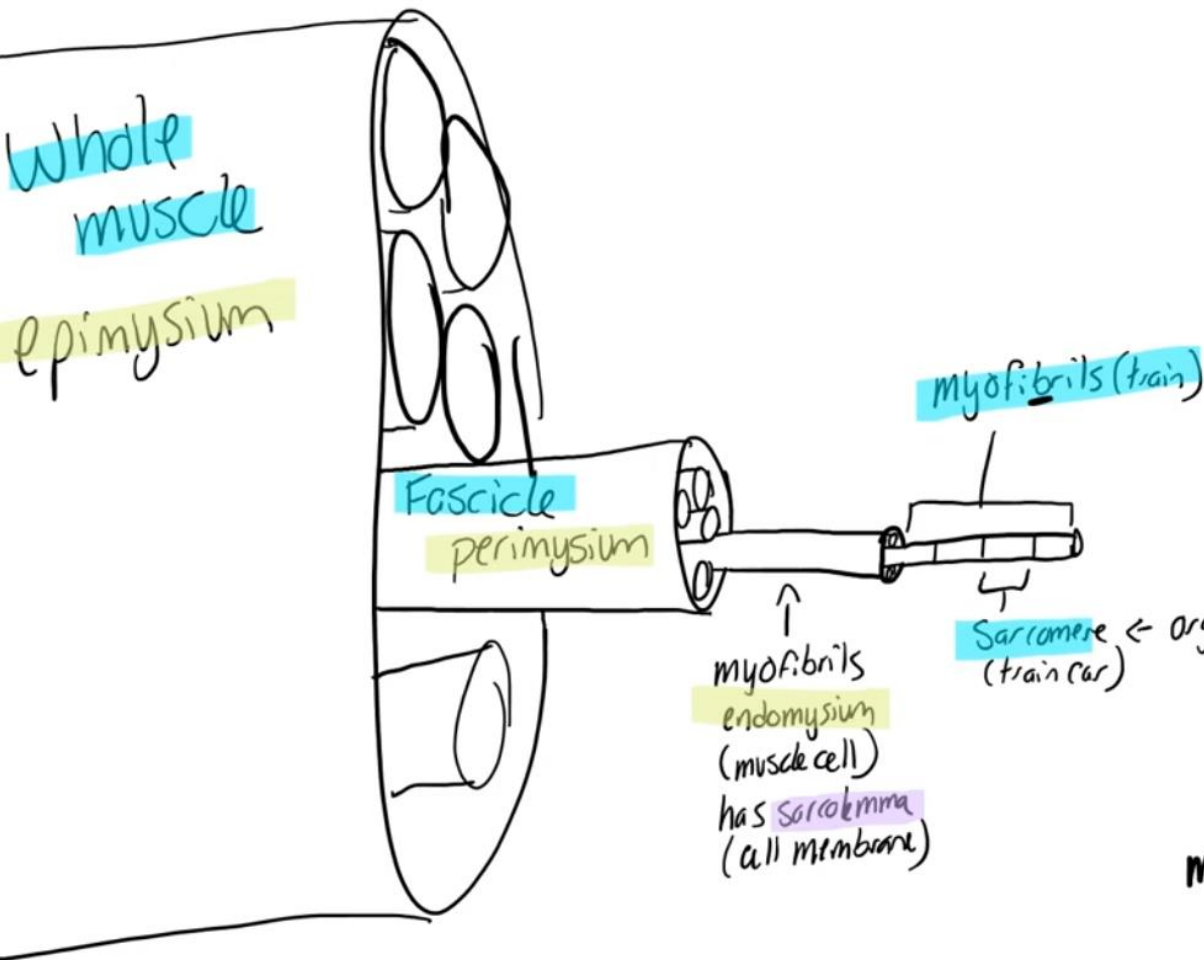
- از نظر ساختمانی، ماهیچه از **سلول های بسیار بزرگ فیبری** (طول یک میلی متر تا چند سانتی متر و قطر ۱۰ تا ۱۰۰ میکرون) تشکیل شده است.
- در سیتوپلاسم ماهیچه (مایع سارکوپلاسم) حدود صد رشته نخي شکل با قطر یک تا دو میکرون قرار دارند که **میوفیبریل** نامیده می شوند. میوفیبریل ها فراهم آورنده ساختار لازم برای انجام **عمل انقباض ماهیچه** می باشند.
- هر فیبر یا سلولهای عضلانی بوسیله پوشش نازکی از جنس بافت پیوندی احاطه شده است که اطراف میوفیبریل را نیز در بر می گیرد.
- از اجتماع تعدادی از فیبرها دسته هایی بوجود می آید که هریک از آنها نیز توسط پوشش پیوندی در بر گرفته شده است.
- از اجتماع دسته ها یک عضله تشکیل می گردد که دارای غلاف پیوندی است.



- بررسی ساختمانی میوفیبریل ها با میکروسکوپ الکترونی نشان می دهد که آنها از واحد های ساختمانی یکسان به نام **سارکومر** تشکیل شده اند.

- سارکومرها در محور طولی میوفیبریل بصورت پشت سرهم قرار گرفته اند و بوسیله نوار باریکی به نام **خطوط Z** از هم جدا می شوند.





myo = muscle
cyte = cell

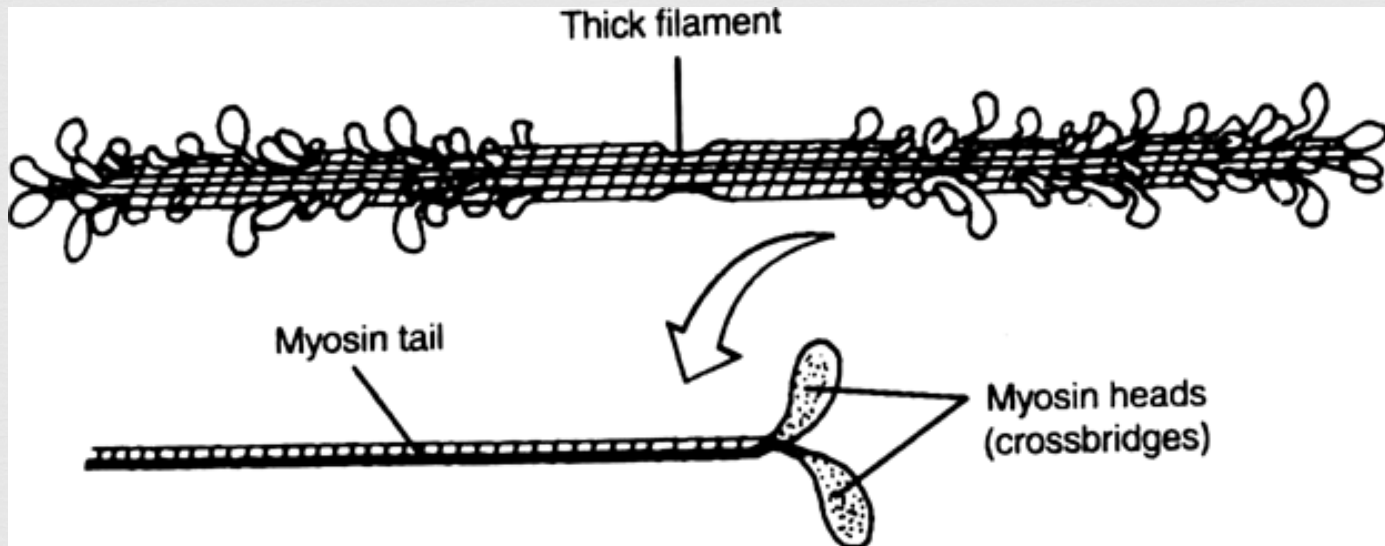
[epi - outer
peri - middle
endo - inner

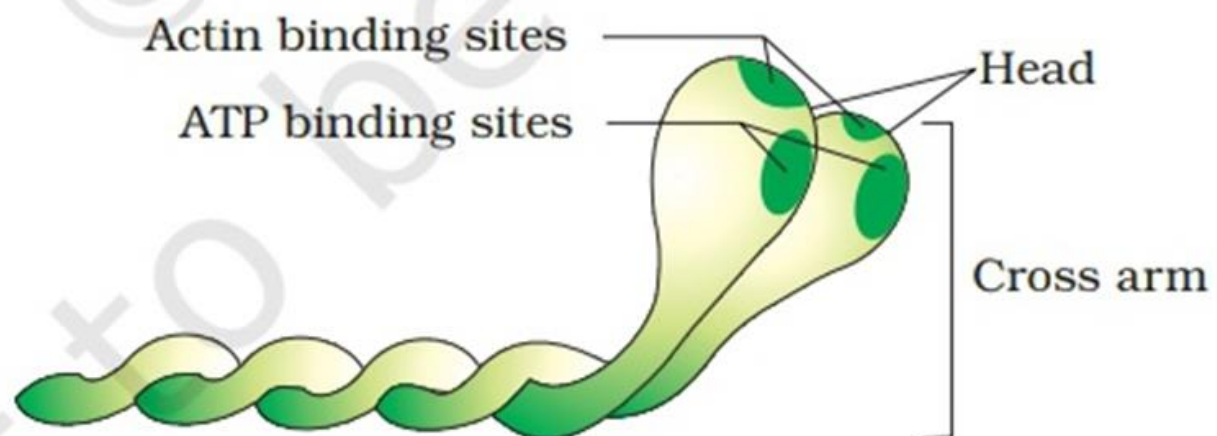
Sarcomere ← organized group of myofilaments
myofilaments = actin + myosin

myofibrils → myofilaments

میوزین

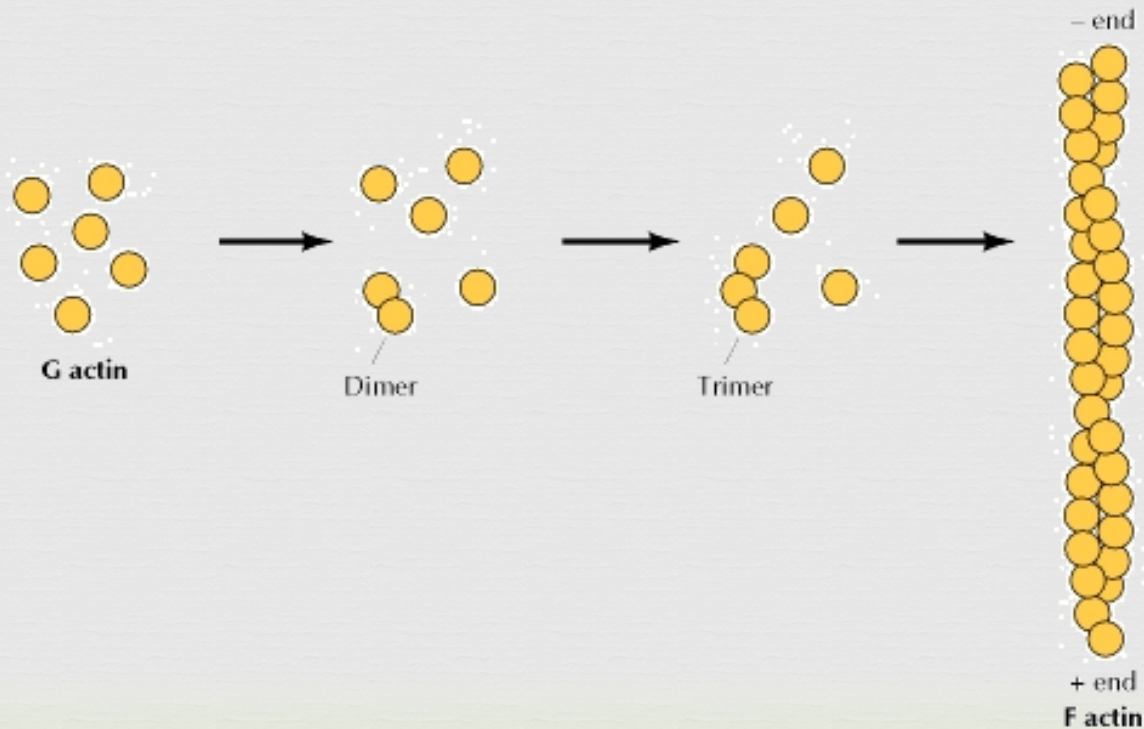
- پروتئین اصلی سازنده میوفیبریل ها است.
 - از ۶ زنجیره یا واحد فرعی تشکیل شده است: ۲ زنجیره سنگین (وزن مولکولی ۲۰۰۰۰۰) و ۴ زنجیره سبک (وزن مولکولی هر زنجیره ۲۰۰۰۰)
- زنجیره سنگین میوزین دارای قدرت تجزیه ATP در حضور آکتین است.

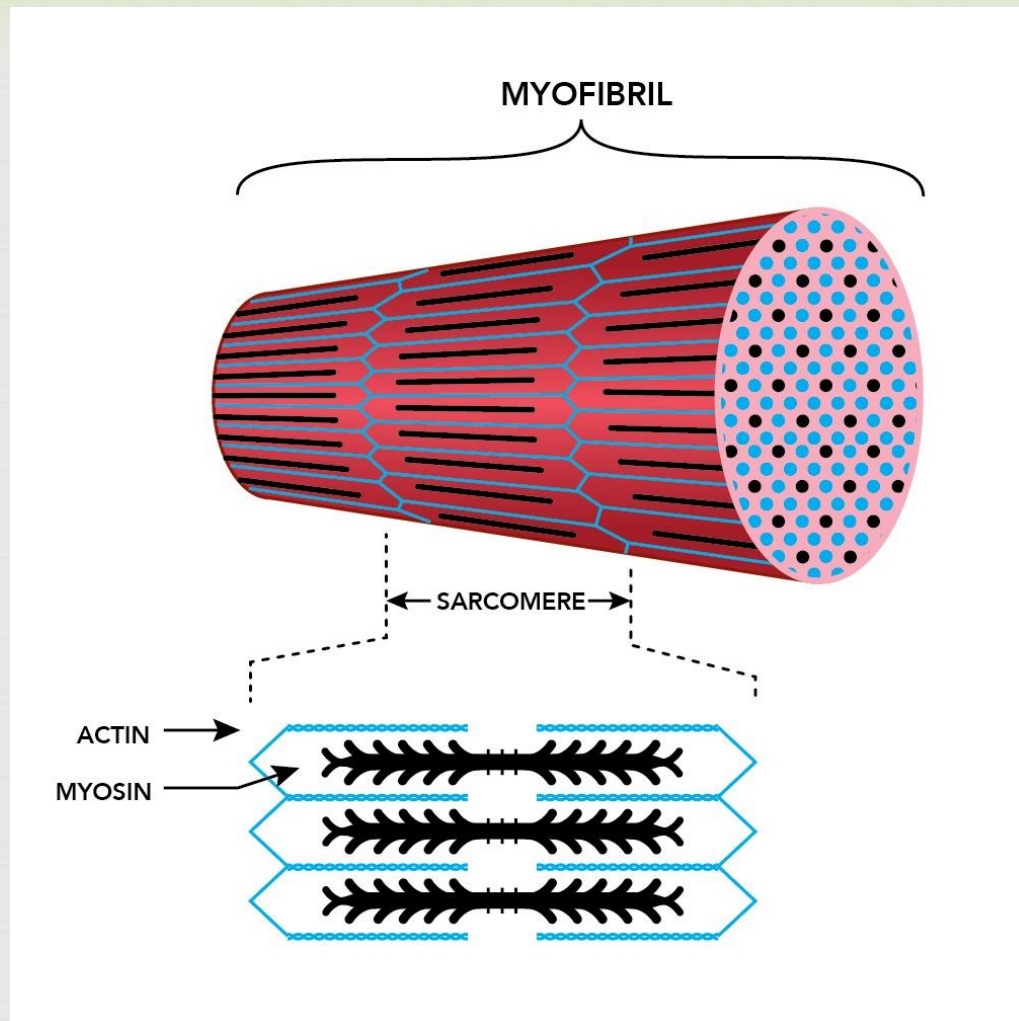




اکتین

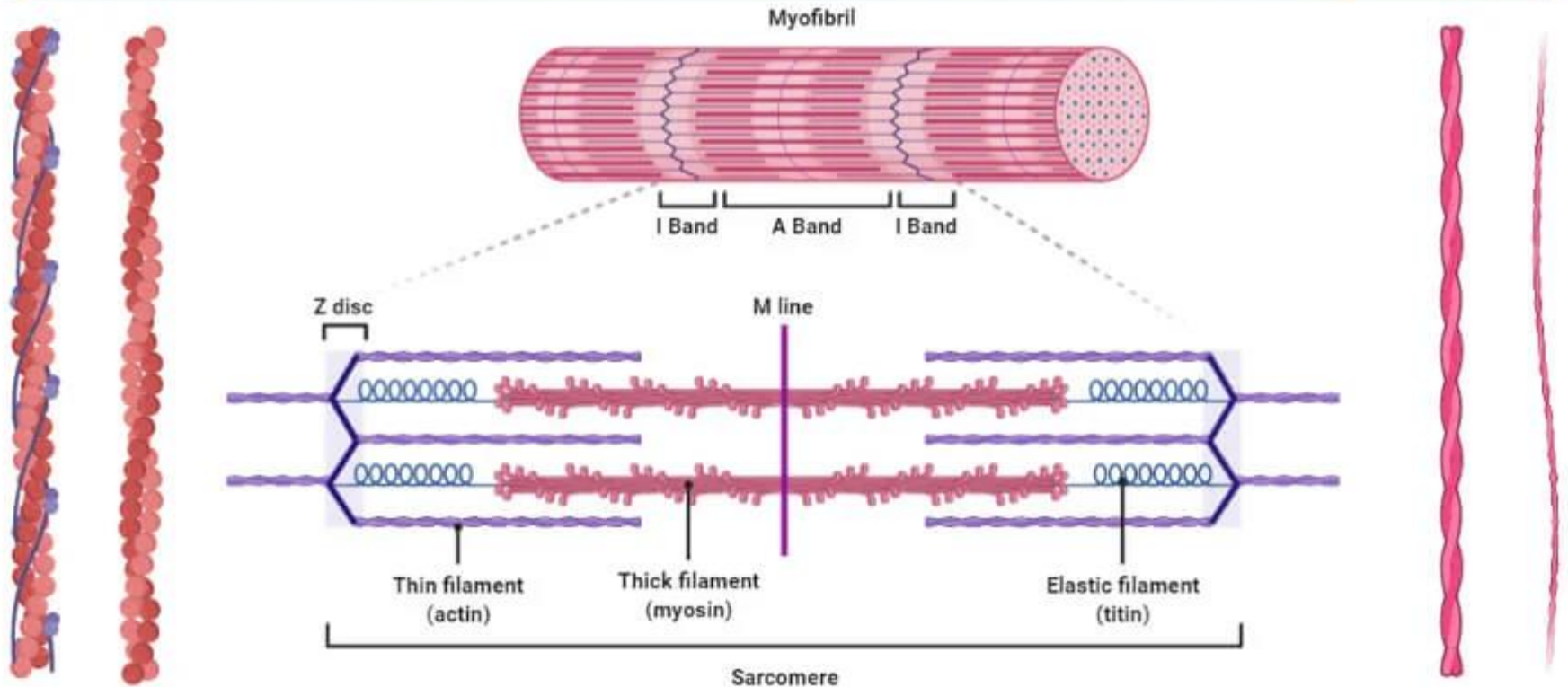
- دارای ساختمانی ساده و فاقد واحدهای فرعی است.
- وزن مولکولی اکتین بصورت یک مولکول واحد (منومر) یک دهم وزن مولکولی میوزین است. (**G اکتین**)
- در حضور غلظت خاصی از نمک (0.1 KCl مولار)، مولکول های اکتین کروی (**G اکتین**) تشکیل دو رشته در هم پیچ خورده را می دهند (**F اکتین**)

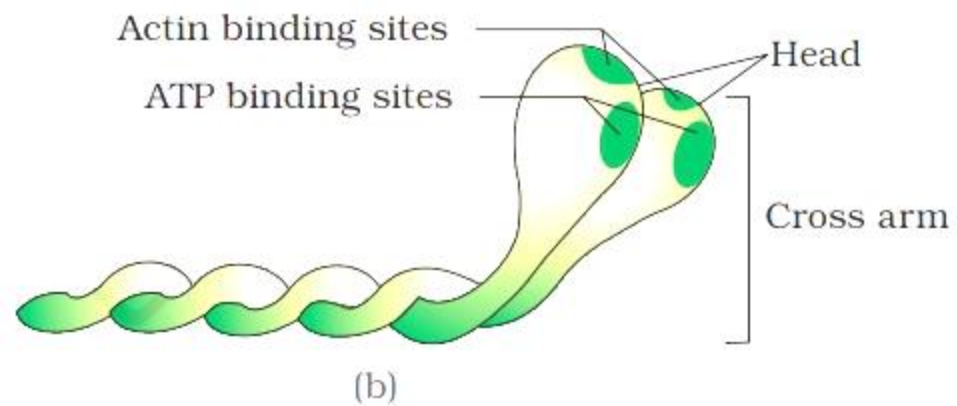
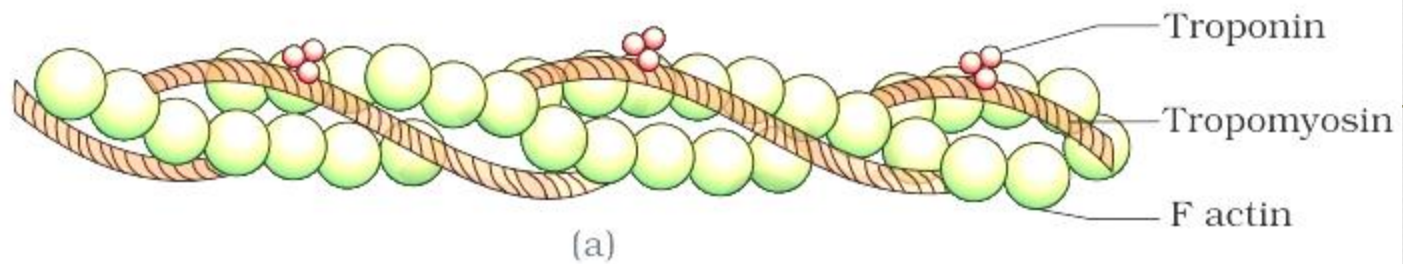




- در میوفیبریل رشته های میوزین (فیلامان ضخیم) و اکتین F (فیلامان نازک) به موازات یکدیگر قرار گرفته اند.
- مجموعه اکتین و میوزین در چنین حالتی با اتصالات عرضی ویژه تشکیل **اکتومیوزین** می دهند.

Differences between Actin and Myosin





(a) An actin (thin) filament (b) Myosin monomer (Meromyosin)

