

نشاسته

1-مقدمه

نشاسته [8-25-9005] به طور گسترده ای در زمینه های صنایع غیر غذایی به خصوص تولید کاغذ و محصولات مقوایی، عامل تعیین اندازه منسوجات و در فرایند های تخمیر برای تولید اتانول و محصولات دیگر و در صنایع غذایی فراوری شده به عنوان تثبیت کننده/ضخیم کننده، عامل ژله کننده و یک ماده

آغاز گر برای تولید پلیول و شیرین کننده ها به کار می رود. نشاسته منبع اصلی تولید کالری های غذایی در میان جمعیت جهان محسوب می شوی. شیمی و فناوری نشاسته در کتاب های مختلف به کرات بررسی شده است. نشاسته بومی به صورت ذرات مجزا و جدا گانه موسوم به گرانول وجود دارد. نشاسته از منبع بیولوژیکی خاص در میان نشاسته های مختلف منحصر به فرد است یعنی دانه های نشاسته از منابع گیاهی مختلف از نظر توزیع اندازه ذرات، شکل ظاهری و ساختار ریز مولکول های پلیمری و خواص فیزیکی متفاوت می باشد. بیشتر کاربرد های نشاسته تنها بعد از حرارت دهی نشاسته در حضور آب مشخص می شود، فرایندی که موجب تخریب ساختار گرانوله شده و مولکول های پلیمری آن را آزاد می کند.

شکل 1-بخش واحد تری گلیکوزیل از قسمت خطی و غیر منشعب مولکول آمیلوپکتین و یا آمیلوز

نشاسته گرانوله به طور کلی به دو نوع مولکول آمیلوز و آمیلوپکتین تقسیم می شود (فصل 4). آمیلوز [7-82-9005] یک آلفا-دی گلوکان خطی می باشد در حالی که برخی از مولکول های آمیلوز دارای انشعاب کم تری هستند.

امیلوپکتین [3-22-9037] (شکل 2) دارای ساختار تو در تو و منشعب می باشد که متشکل از زنجیره های کوتاه واحد های 1-4- آلفا دی

گلوکوپیرونوزیل می باشد که به دیگر زنجیره های خطی از طریق نقاط انشعاب (1,6-a) متصل می شود. بخش آمیلوپکتین متشکل از مولکول های بزرگ تر

از آمیلوز است. بیشتر تشاسته های طبیعی دارای 70-75 درصد مولکول های

آمیلوپکتین از نظر وزنی می باشد. ساختارها و اندازه مولکولی متفاوت نسبت
های متفاوت آمیلوز به آمیلوپکتین و ساختار گرانوله به هر کدام از اینها
خواص منحصر به فردی را می دهد.

2- منابع نشاسته های تجاری

بیشتر گیاهان تولید کننده نشاسته شامل ذرت، کاساوا، سیب زمینی و گندم می
باشند. ذرت مورد استفاده برای تولید نشاسته شامل انواع ژنتیکی مختلف هیبرید
ذرت می باشند. مقدار کم تری از نشاسته به طور صنعتی از مارانتا آروندیناسه،
ماش، برنج، نخل ساگو، سیب زمینی شیرین، سیب زمینی شیرین، نخود زرد، و
دیگر گیاهان تولید می شوند.

3- تولید نشاسته در جهان

در سال 2006 گزارش شد که 99 درصد تولید نشاسته جهان به میزان

60000000000 تن مربوط به گیاهان ذرت، کاساوا، گندم و سیب زمینی

است. سهم تک تک این گیاهان در تولید نشاسته به ترتیب 73 درصد، 14

درصد، 8.1 درصد و 3.7 درصد است. نشاسته غالباً در کشورهای امریکا،

اروپا، ژاپن و تایلند تولید می شود. بزرگ ترین تولید کننده ها در مقیاس

جهانی شامل کارجیل (9.2×10⁹ t, 14.6%)، CPI (5.2×10⁶ t, 8.2%)، ADM)

(5.2×10⁹ t, 8.2%)، شرکت ملی تولید مواد شیمیایی و نشاسته (1.2×10⁶ t یا

1.9 درصد) و آوب (0.6×10⁶ t, 1.0%) می باشند. تقریباً

33.6×10^6 t (53.1%) نشاسته در شرکت های کوچک و متوسط تولید

می شود.

1-3 تولید و مصرف نشاسته در اروپا

صنعت نشاسته در اروپای غربی شامل 24 شرکت با 68 کارخانه می باشد که

در 2005 9.6×10^6 تن نشاسته را تولید کردند: 46 درصد نشاسته ذرت، 36

درصد نشاسته گندم و 18 درصد نشاسته سیب زمینی. تولید نشاسته از نخود

زرد نیز در این جا شامل می شود.

در سال 2005، 9.0×10^6 تن محصولات نشاسته ای در اروپا برای تولید

هیدرولیزات نشاسته مصرف شدند که شامل شیره های با فروکتوز بالا، نشاسته

های بومی، و نشاسته های اصلاح شده بودند. 57 درصد از 9.0×10^6 در

صنعت غذایی استفاده شد و 43 درصد مربوط به صنایع غیر غذایی بودند.

مصرف توسط بازار به صورت زیر بود (قنادی، مشروبات و فراوری میوه، 30

درصد، غذای فراوری شده (فست فود، نانوائی، ترکیبات غذایی و مواد خام،

محصولات لبنی و بستنی) 27 درصد، تولید کاغذ و مقوا 28 درصد، مواد

شیمیایی، تخمیر و محصولات دیگر 14 درصد. (فصل 10 را ببینید).

2-3 صنعت فرز مرطوب ذرت

به مراتب بیشتر نشاسته تولید شده در ایالات متحده از ذرت می باشد و سیب

زمینی و گندم در رده های بعدی قرار می گیرند. نشاسته ذرت با فرایند فرز

مرطوب تولید می شود. ارقام تولید برای شرکت های عضو در اتحادیه پالایش

ذرت برای سال 2008 در جدول 1 نشان داده شده است. نسبت تولید شیره

دارای فروکتوز زیاد تقریباً 67:33 می باشد. به علاوه، $L \times 10^9$ 4.5 از اتانول سوختی با فرز مرطوب ذرت تولید شد در حالی که بیشتر اتانول سوختی تولید شده در امریکا توسط تخمیر از ذرت توسط آسیاب خشک حاصل شد. مقیاس محصولات از فرایند فرز مرطوب برای امکان سنجی اقتصادی صنعت مهم است.

جدول 1- محصولات حاصل از صنعت فرز مرطوب ذرت در امریکا در سال

2008

تولید بر حسب 10000000 تن	محصول
5.2	جایگزین های شکر

1.5	نشاسته ها
5.9	محصولات فرعی

محصول: وزن خشک

جایگزین های شکر: موسوم به محصولات تبدیلی که شامل شیره با فروکتوز

بالا (43 و 55 درصد فروکتوز)، شیره گلوکز، گلوکز متبلور، فروکتوز متبلور،

مالتودکسترین و شیره جامد.

نشاسته شامل: نشاسته های ذرت بومی، نشاسته های اصلاح شده و دکسترین

محصولات فرعی: روغن ذرت، خوراک ذرت، گلوتن ذرت، خوراک گلوتن

ذرت،

3-3 تولید نشاسته تاپیوکا در تایلند

بیشترین نشاسته تاپیوکا در تایلند تولید می شود. مقدار کم تری در اندونزی،

برزیل و چین تولید می شود. در 2009، تایلند اقدام به صادرات 1.8*⁶

10000000 تن نشاسته بومی، 0.7×10^6 نشاسته اصلاح شده و

0.02×10^6 دانه تاپیوکا کرد.

4- ساختارهای مولکولی و خواص آمیلوز و آمیلوپکتین

پلی ساکارید اصلی نشاسته، آمیلوپکتین یک مولکول بسیار بزرگ و منشعب

است. نقاط انشعاب 4 تا 5 درصد لینکاژهای گلیکوزیدی را تشکیل داده و به

صورت خوشه ای هستند. سه دسته کلی از زنجیره ها وجود دارند. زنجیره های

A شامل آن هایی هستند که به زنجیره دیگر از طریق لینکاژ 1-6 متصل می

شوند ولی خودشان غیر منشعب هستند و زنجیره های B شامل زنجیره هایی هستند که به زنجیره دیگر از طریق لینکاژ های 1-6 چسبیده و دارای یک یا چند زنجیره a و یا B متصل به آن ها می باشند که خودشان نیز بیشتر منشعب می شوند. زنجیره های B را می توان به زنجیره های با طول و اندازه مختلف تقسیم بندی کرد. زنجیره C قادر به احیای مولکول آمیلوپکتین است. در گرانول های نشاسته، زنجیره های A-B به صورت جفت زنجیره هایی در هم تنیده به صورت هلیکاز مضاعف هستند. که با هم موجب تبلور گرانول های نشاسته می شود. وزن مولکولی متوسط آمیلوپکتین حداقل 10 به توان 7 می باشد.

مدل خوشه اصلی برای این مولکول چندین بار تغییر پیدا کرده است ولی شکل اصلی خود را ثابت کرده است و این خود توجیه کننده ماهیت فوق مارپیچی مولکول های آمیلوپکتین می باشد که در برخی از نشاسته ها امروزه دیده می شود.

آمیلوپکتین امروزه در همه نشاسته ها وجود دارد که سه چهارم نشاسته های اصلی را شامل می شود. در واقع، برخی از نشاسته ها متشکل از آمیلوپکتین می باشند. نشاسته های دارای آمیلوپکتین موسوم به نشاسته های مومی می باشند. ساختار متوسط ریز، وزن مولکولی متوسط، دامنه وزن مولکولی و شکل آمیلوپکتین از یک نشاسته به نشاسته دیگر متغیر است و از عوامل مهم موثر بر خواص نشاسته، غذاها و دیگر محصولات دارای نشاسته است.

جدول 2- خواص کلی دانه ها و خمیر نشاسته های ذرت بومی

امیلوز: آمیلوز ذاتا مولکول های ناسازگاری می باشند، آمیلوز دارای وزن

مولکولی کم و با شکلی تقریبا طویل است در حالیکه آمیلوپکتین بزرگ اما

مولکولی متراکم است. بیشترین ساختارشان شامل واحدهای α - (1 4)

D گلوکوز می باشد. اگرچه پیوند های α - (1 4) قادرند حول (زاویه پیوند)

(ϕ) فی و (ψ) سای چرخش آزاد داشته باشند، پیوند هیدروژنی بین اتم های

اکسیژن '03 و 02 از باقیمانده های متوالی، تمایلی برای ایجاد ساختار فضایی

مارپیچی را سبب می شود. این ساختار های مارپیچی تقریبا انعطاف ناپذیرند و

ممکن است پیوستگی صفحات هیدروفوبی (آبگریز) در آنها مشهود باشد.

گرانول های نشاسته دارای اندازه های متفاوت هستند و از دو تا 150 میکرون

متغیر است. شکل آنها ممکن است گرد، بیضی یا چند وجهی باشد. انواعی از

گرانول های نشاسته را می بینید.

خصوصیات این گرانول ها در گیاهان مختلف بسیار متفاوت است. از این نظر

می توانند به منزله مبنایی (از نقطه نظر مبدا) برای تقسیم بندی نشاسته های

مختلف مورد استفاده قرار بگیرند. همان طور که گفته شد گرانول ها از لحاظ

شکل ممکن است صورت های کروی، بیضی و یا چندوجهی داشته باشند که با

میکروسکوپ قابل بررسی است. این گرانول ها اکثرا دارای یک مبدا مرکزی

موسوم به هیلام هستند که اغلب توسط حلقه های متحدالمرکزی احاطه شده

اند. مهم ترین منبع تهیه نشاسته ذرت است اما نشاسته گندم، برنج، سیب زمینی، کاساوا (به نام تاپیوکا) = tapioca و ساگو نیز تولید و به بازار عرضه می شود. در این میان بزرگ ترین گرانول ها (با قطر متوسط 33 میکرون) مربوط به سیب زمینی و کوچک ترین آنها (با قطر متوسط 5 میکرون) متعلق به برنج است. نشاسته از دو مولکول آمیلوز و آمیلوپکتین تشکیل شده است. مولکول های آمیلوز تقریباً یک چهارم کل نشاسته را تشکیل می دهند (اگرچه بعضی وارسته ها آمیلوز ندارند). آمیلوز یک زنجیره خطی بلند متشکل از هزاران گلوکز است. در مولکول آمیلوز پیوند میان واحدهای گلوکز فقط به شکل 4-1 - آلفا است. نشاسته های دارای مقادیر بالای آمیلوز شکل خود را به هنگام شکل دادن حفظ کرده و تشکیل ژل می دهند.

مولکول های آمیلوپکتین تقریباً سه چهارم پلی مرهای یک گرانول نشاسته را تشکیل می دهند. در مولکول آمیلوپکتین معمولاً بعد از هر 8 - 7 واحد گلوکز یک شاخه انشعابی وجود دارد که خود دارای 30 - 15 واحد گلوکز است. در رشته اصلی اتصال واحدهای گلوکز به صورت 1 4 - آلفا و در محل انشعاب به صورت 1 6 - آلفا است. نشاسته چای درصد بالایی آمیلوپکتین دارد که سبب تغلیظ یک مخلوط خواهد شد اما برخلاف آمیلوز تشکیل ژل نمی دهد.

مولکول های آمیلوپکتین به یکدیگر متصل نمی شوند و به هنگام سرد شدن پیوندهای شیمیایی مشابه آمیلوز تشکیل نمی دهند. از دیگر موارد قابل مقایسه بین آمیلوز و آمیلوپکتین وزن مولکولی آنها است. وزن مولکولی آمیلوز ممکن است به 200 - 100 هزار برسد در حالی که وزن مولکولی آمیلوپکتین در

حدود یک میلیون است.نسبت وجود دو آنزیم که سازنده اتصال های 1 4 -

آلفا و 1 6 - آلفا در گیاه هستند مشخص کننده نسبت یا میزان آمیلوز یا

آمیلوپکتین در نشاسته آن گیاه است.

جدول 3-خواص کلی گرانول ها و خمیر های نشاسته سیب زمینی، مانیوک و

گندم

بیشتر نشاسته ها دارای 25 تا 30 درصد آمیلوز می باشند که در جداول 3 و 2

نشان داده شده است که خواص کلی به خوبی در آن ها مشخص است و

موسوم به نشاسته های طبیعی می باشند. نشاسته های حاوی بیش از این مقدار

آمیروز موسوم به نشاسته های با آمیروز زیاد می باشند. دو نشاسته تجاری ذرت موسوم به نشاسته های ذرت با آمیروز بالا یا نشاسته های آمیلومیز دارای مقدار آمیروز 50 و یا بیش از 70 درصد هستند.

چندین خصوصیت مهم آمیروز با توجه به کاربرد های نشاسته مهم است . گرمادهی نشاسته در آب با برش تشکیل خمیر می دهد. خمیر های نشاسته های دارای آمیروز تشکیل ژل می دهند. رسوب به جای ژله ای شدن در خمیر های رقیق در صورت سرد شدن رخ می دهد. تشکیل ژل و تیره شدن و یا رسوب ناشی از ارتباط مولکول های آمیروز در حالت تبلور است فرایندی که موسوم به رترودگریشن است و یا در صورتی که مربوط به تعیین خواص پاست باشد، فرایند ست بک یا برگشت به عقب نام دارد.

زنجیر آمیلوز ماریچی دارای آبگریز فضای داخلی است که قادر به تشکیل مجتمع ورود با بخش آبگریز خطی از مولکول است که می تواند در لومن مناسب (به عنوان مثال، حفره داخلی) ماریچ قرار گیرد. وقتی یک محلول داغ از نشاسته با یک ترکیب آلی محلول در آب قطبی ترکیب شود نظیر بوتانول و سپس سرد شود، کمپلکس های آمیلوز متبلور شده و با سانتیفیوژ تفکیک می شوند. کمپلکس شدن موجب تثبیت هلیکس شده و مولکول های خطی طویل را به ساختار های یکنواخت و میله ای تبدیل می کند. چون تنها مولکول های آمیلوز متبلور می شوند، چنین کمپلکس شدنی را می توان برای تفکیک آمیلوز خالص به کار گرفت.

کمپلکس های یدین با آمیلوز و مولکول های آمیلوپکتین با تشکیل کمپلکس درون بخش های مارپیچی مولکول های نشاسته قرار دارند. بخش های مارپیچی طویل آمیلوز امکان تشکیل زنجیره های طولانی $\text{poly}(\text{I}_3^-)$ را داده و تولید رنگ آبی می کنند که یک تست تشخیصی برای نشاسته است.

کمپلکس یدین- آمیلوز دارای 19 درصد یدین است و تعیین مقدار یدین کمپلکس شده برای اندازه گیری آمیلوز در نشاسته استفاده می شود.

آمیلوپکتین با یدین تشکیل کمپلکس های قهوه ای مایل به قرمز می دهد زیرا شاخه های آن برای تشکیل زنجیره های طویل $\text{poly}(\text{I}_3^-)$ بسیار کوتاه است.

لیپید های قطبی (سورفاکتانت ها/امولسیون کننده ها و اسید های چرب) بر خمیر های نشاسته و غذاهای نشاسته دار به روش های مختلف ناشی از تشکیل

کمپلکس تاثیر می گذارد. 1- با تاثیر بر ژله ای شدن نشاسته و خمیر شدگی 2- با اصلاح خواص رئولوژیکی خمیر و 3- با مهار تبلور مولکول های نشاسته مربوط به فرایند تجزیه. با افزایش لیپید بسته به ساختار و نشاسته مورد استفاده، تغییرات خاص را می توان در خمیر مشاهده کرد طوری که سورفاکتانت های لیپیدی بر ژله ای شدن و رفتار خمیری شدن اثر گذاشته و هر سورفاکتانت لیپیدی بر نشاسته ها با منابع گیاهی مختلف اثر می گذارد. چون تشکیل کمپلکس با امولسیون کننده به آسانی نسبت به امیلوز رخ می دهد و در نتیجه دارای اثر بیش تری بر روی مولکول های آمیلوز نسبت به مولکول های آمیلوپکتین دارد، لیپید های قطبی دارای اثر بیشتری بر روی نشاسته نسبت به نشاسته های مومی دارند. افزودن امولسیف/سورفاکتانت به نشاسته های حاوی

آمیلوز موجب مهار فرایندهای مربوط به ژلاسیون و خمیر شدگی می شود و

موجب افزایش سرعت فرایندها در دماهای پایین می شود. لیپیدهای قطبی

مربوط به نشاسته های غلات تجزیه را به فراوانی نشان می دهند.

توانایی لیپیدهای قطبی برای تشکیل کمپلکس با آمیلوز و آمیلوپکتین مربوط

به طول زنجیره، درجه اشباع نشدگی، و ماهیت گروه آب گریز آن هاست. به

طور کلی، استرهای میستری و اسیدپالمیتیک بسیار موثر گزارش شده اند.

5- ساختارها و خواص گرانول های نشاسته

1-5 ساختار گرانول

در گیاهان، مولکول های سنتز شده نشاسته در شکل دانه های نیمه متبلور، موسوم به گرانول ها قرار دراند که بر اساس اندازع و شکل (کروی، بیضی، پلی گونال و عدسی) بسته به منشا گیاه شناسی متغیر هستند. نشاسته در بافت های گیاهی به صورت دانه هایی جدا از هم یا گرانول وجود دارد که قطر آن ها از 2 تا 100 میکرون متغیر می باشد. خصوصیات این گرانول ها در گیاهان مختلف بسیار متفاوت است. این گرانول ها از لحاظ شکل ممکن است به صورت های کروی، بیضی و یا چند وجهی باشند. بزرگترین گرانول ها مربوط به سیب زمینی و کوچکترین آن ها متعلق به برنج می باشد. گرانول های نشاسته دانه هایی نیمه کریستالی می باشند. بسته به منبع نشاسته ممکن است 15 تا 45٪ ساختار گرانول نشاسته به صورت کریستالی باشد. به طور کلی در یک

گرانول نشاسته دو ناحیه مجزا قابل تشخیص است قسمت آمورفی و قسمت نیمه کریستالی که در خود قسمت نیمه کریستالی، ایجاد پیوند بین زنجیرهای جانبی آمیلوپکتین و همچنین حضور مولکول های آمیلوز مسئول ایجاد حالت کریستالی و زنجیرهای اصلی و بدون انشعاب آمیلوپکتین و همچنین زنجیرهای جانبی کوتاه تر، آمیلوپکتین مسئول ایجاد حالت آمورف می باشند. همان طور که گفته شد، نشاسته در حالت طبیعی داخل گرانول های مجزا از هم می باشد. بنابراین برای اینکه این ماکرومولکول ها از داخل گرانول آزاد گردند بایستی نشاسته ژلاتینه شود. در واقع، در فرآیند ژلاتینه شدن، گرانول های نشاسته در حضور آب متلاشی شده و زنجیرهای آمیلوز و آمیلوپکتین از داخل آن ها آزاد می گردند. گرانول های نیمه کریستالی نشاسته در دمای اتاق نسبت به انحلال

در آب از خود مقاومت نشان می دهند. هنگامی که دیسپوسیون نشاسته در آب حرارت داده می شود و سپس سرد می شود، بسته به دما و زمان حرارت دهی چهار مرحله زیر تشخیص داده می شود: ژلاتینه شدن، خمیر شدن، ترکیدن گرانول ها و رتروگراداسیون. گرانول های نشاسته در آب سرد نامحلول می باشند و آب کمی جذب می کنند. حرارت دادن مخلوط گرانول ها و آب، موجب شکسته شدن پیوندهای هیدروژنی نشاسته - نشاسته و ایجاد پیوندهای نشاسته - آب در دمای ژلاتینیزاسیون می شود و در نتیجه آبگیری تسریع می یابد و آب به داخل گرانول ها نفوذ می کند و موجب تورم برگشت پذیر گرانول ها می شود (قابل برگشت با سرد کردن و خشک کردن) در مرحله ژلاتینه شدن افزایش ویسکوزیته محلول ناچیز است ولی افزایش آبگیری

نشاسته را می توان از روی کاهش شکست دو گانه نور زیر میکروسکوپ نوری پلاریزه تشخیص داد. کریستالی بودن ساختار میسل های نشاسته موجب شکست دو گانه نور می شود. جذب آب موجب تبدیل شکل کریستالی به آمورف و کاهش شکستن دو گانه نور می شود. گذشتن زمان و افزایش دمای سوسپانسیون نشاسته موجب افزایش آبگیری و تورم برگشت ناپذیر گرانول ها در دمای خمیر شدن و افزایش یکباره ویسکوزیته می گردد. در مرحله خمیر شدن، بخشی از مولکول های نشاسته (به ویژه آمیلوز) از داخل گرانول ها به فضای بین گرانول ها وارد می شود و ماتریکس بین گرانولی تشکیل می دهد که این ماتریکس باعث افزایش شدید ویسکوزیته می شود. گفتنی است هر چه قدر نسبت آمیلوز کمتر باشد دمای ژلاتینه و خمیر شدن کمتر خواهد بود.

شکل 3- طرح شماتیکی از گرانول نشاسته

الف: رابطه ساختاری بین پوسته های نیمه متبلور و آمورف ب: رابطه ساختاری

بین لاملای متبلور و بی شکل ج: ساختار مولکولی آمیلوپکتین

به طور خلاصه، آمیلوپکتین مسئول اصلی سازمان دهی گرانول های نشاسته و

ماهیت نیمه متبلور است. برعکس، آمیلاز در مناطق آمورف قرار گرفته است

که گفته می شود به طور تصادفی میان خوشه های آمیلوپکتین قرار گرفته و یا

در کمپلکس هایی با لیپید های قطبی بومی درگیر می شود/

آرایش شعاعی کروی متبلور مولکول های نشاسته در گرانول از انکسار مضاعف گرفته شده است که در بررسی میکروسکوپی دانه های نشاسته تحت نور پلاریزه مشخص شد. بر اساس انکسار اشعه ایکس، گرانول های نشاسته بومی، تبلور زیادی را متغیر از 15-45 درصد نشان دادند. انکسار اشعه ایکس نشاسته های بومی سه الکوی مشخص را نشان می دهد. A, B و C که معرف آرایش آلومورفیک ماریچ های مضاعف نشاسته درون گرانول هاست. انواع خاصی از بسته های متبلور مشاهده شده در نشاسته تابعی از هر دو شرایط دمایی در گیاه و طول زنجیره هستند. طول زنجیره متوسط در DP 12 موجب تشکیل آلومورف B نسبت به a است.

شکل 4- توصیف مالتر مشاهده شده درون گرانول های نشاسته

به طور کلی نشاسته های سیب زمینی تولید بلور های B می کنند در حالی که نشاسته غلات دارای آرایش بلور A است. نشاسته های لگوم آلومورف C را نشان می دهند که ترکیبی از الومورف های A-B است.

در سطح ساختار ماکرو، گرانول های ذرت و گندم دارای حفره هایی بر روی سطوح گرانول می باشند که موجب می شوند تا گرانول ها ساختار درونی پیدا کنند. کانال های درون گرانول های این نشاسته ها بر الگوهای گرانول تحزیه امیلوتیک و اصلاح شیمیایی با تسهیل دسترسی به آنزیم های معرف های شیمیایی اثر می گذارند.

2-5 خواص فیزیوشیمیایی

گرانول های نشاسته بومی، که دارای ترتیب مولکولی کوتاه و طویل است، در آب سرد نامحلول می باشند ولی قادر به جذب آب هستند که به دلیل ماهیت نیمه آمورف آن هاست. در گرانول های آب گرفته، آب دارای اثر پلاستیک کننده بر روی منطقه آمورف است که موجب کاهش دمای گذار شیشه می شود و سیاریت پلیمر را بالا می برد. هیدراسیون موجب افزایش قطر گرانول تا 10 درصد و 25 درصد به ترتیب در نشاسته طبیعی و مومی گندم می شود.

(اواخر ترجمه این مقاله موجود نمیشد)