

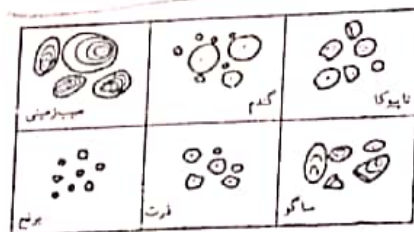
پلی ساکاریدها

چنانچه تعداد واحدهای قند یا مونوساکارید در یک کربوهیدرات بیش از ۱۰ واحد باشد آن ترکیب قندی پلی ساکارید نامیده می‌شود. این ترکیبات همچنین به نام گلیکان هم نامیده می‌شوند و از واحدهای مونو ساکاریدی تشکیل شده‌اند که با پیوند گلیکوزیدی بهم متصل شده‌اند. در صورتی که پلی ساکاریدها از یک نوع واحد قندی تشکیل شده مثل نشاسته، سلولز، هموپلی ساکارید خوانده می‌شود و چنانچه از بیش از یک نوع واحد قندی درست شده باشد مثل اکثر همی سلولزها، هتروپلی ساکارید نامیده می‌شود. مهم ترین پلی ساکاریدهایی که در مواد غذایی وجود دارند عبارت اند از:

۱- نشاسته

نشاسته منبع ذخیره‌ی انرژی در گیاهان است و بعد از سلولز دومین کربوهیدرات فراوان در طبیعت است. نشاسته پلی مری از مولکول‌های گلوکز است. نشاسته در گیاهان به صورت ذرات و دانه‌های جدا از هم (گرانول) وجود دارد. شکل و ابعاد این گرانول‌ها در محصولات مختلف منحصر به فرد است. بطوری که هم از نظر شکل و هم از نظر اندازه تا حدی می‌توان منبع نشاسته را شناسایی نمود. گرانول‌های نشاسته به شکل بلوری هستند و از لایه‌های هم مرکزی تشکیل شده‌اند که این لایه‌ها در اطراف یک حلقه‌ی مرکزی که به نام ناف یا Hillum نامیده می‌شود به وجود می‌آید و این حلقه‌ها را به نام حلقه‌های رشد نشاسته نام گذاری می‌کنند. اندازه‌ی گرانول‌های نشاسته بین یک تا صد میکرومتر است که در بین گرانول‌های نشاسته سیب زمینی دارای بزرگترین گرانول‌ها است (حدود ۵ الی ۱۰۰ میکرومتر) در حالی که برنج دارای کوچکترین گرانول‌هاست (۳ الی ۸ میکرومتر). از نظر اندازه:

برنج < ذرت < گندم > سیب زمینی



شکل ۱۱ - وضعیت گرانول‌های نشاسته‌های مختلف در زیر میکروسکوپ.

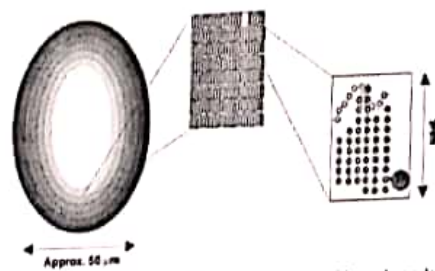


Fig. 1.1 Schematic representation of the molecular organisation of the starch granule.

Table 12.2 Starch granule characteristics

Starch	Type	Diameter microns (μ m)	Morphology	Gelatinisation temp. °C	Pasting temp. °C (a)	Amylose content	Cooked properties
Maize (b)	Cereal	5-30	Round Polygonal	62-72	80	25	Opaque gel
Waxy Maize	Cereal	5-30	Round Polygonal	63-72	74	<1	Clear cohesive
Topioca	Root	4-35	Oval Truncated 'kettle drum'	62-73	63	17	Clear cohesive, tendency to gel
Potato	Tuber	5-100	Oval Spherical	59-68	64	20	Clear cohesive, tendency to gel
Wheat	Cereal	1-45	Round Lenticular	58-64	77	25	Opaque gel
Rice	Cereal	3-8	Polygonal Spherical Compound granules	68-78	81	19	Opaque gel
Sago	Pith	15-65	Oval Truncated	69-74	74	26	Opaque gel
High Amylose Maize	Cereal	5-30	Polygonal Irregular Elongated	63-92(c)	>90	50-90	Very opaque, very strong gel

(a) Measured for 5% starch suspension.

(b) Maize is also often referred to as 'corn', 'dent corn' or 'regular maize'.

(c) High amylose maize starches are not completely gelatinised in boiling water.

مهم‌ترین منبع تهیه نشاسته در صنعت ذرت است ولی نشاسته را می‌توان از منابع دیگر مثل گندم و سیب زمینی هم بدست آورد.

ساختار شیمیایی نشاسته

نشاسته از دو پلی مر آمیلوز و آمیلوپکتین تشکیل شده است.

آمیلوز: بخش خطی و غیرقابل انشعاب نشاسته است که ساختار پایه‌ی آن از دو مولکول گلوکز با پیوند $\alpha(1 \rightarrow 4)$ تشکیل شده است.

آمیلوز در حضور عوامل کمپلکس دهنده از حالت کلاف به حالت مارپیچی در می‌آید. هر دور مارپیچ آمیلوز از ۶ واحد گلوگزی تشکیل شده است. معمولاً بین ۵۰۰ تا ۶۰۰ واحد گلوگزی به هم متصل شده و آمیلوز را تشکیل می‌دهند.

بخش آمیلوزی در اغلب نشاسته‌های متداول در مواد غذایی، بخش کمتر نشاسته را در بر می‌گیرد (عموماً ۱۷ الی ۳۰٪ وزن نشاسته).

چسب نشاسته

یکی از واکنش‌هایی که برای شناسایی نشاسته استفاده می‌شود واکنش آن با یُد است. معمولاً رنگ نشاسته با یُد به عنوان تست تشخیصی قلب مورد استفاده قرار می‌گیرد که این رنگ آبی یُد که در عمل یُد بر روی نشاسته به وجود می‌آورد مربوط به بخش آمیلوزی آن است، در حالی که بخش آمیلوپکتین رنگ قرمز را به وجود می‌آورد.

بسته به میزان اتصال یُد به مارپیچ (طول زنجیره) رنگ‌های مختلفی بوجود می‌آید.

نام	رنگ تولیدی با ید	طول زنجیره
آکرو دکسترین	بدون رنگ	۱۲
مالتو دکسترین	قهوه‌ای	۱۲-۱۵
اریترو دکسترین	قرمز	۲۰-۳۰
	ارغوانی	۳۰-۳۵
	آبی	>۴۵

با توجه به این که در آمیلوزهای طبیعی بیش از ۴۵ مولکول گلوکز وجود دارد بنابراین کمپلکس ید با آمیلوز به رنگ آبی است.

آمیلوز توسط هر ماده‌ی آلی قطبی که کمی در آب حل می‌شود مثل الکل آمیلیک می‌تواند رسوب دهد و از این خاصیت برای جداسازی دو پلی‌مر آمیلوز و آمیلوپکتین استفاده می‌شود. علاوه بر این آمیلوزها می‌توانند با مواد مختلفی مثل اسیدهای چرب و ترکیبات طعم را ترکیب شوند (به دور آن‌ها مارپیچ تشکیل دهند) در نتیجه می‌توانند آن‌ها را به این طریق به داخل محصولات غذایی اضافه کنند.

از آمیلوز می‌توان به عنوان لایه‌ها یا فیلم استفاده کرد و در بسته بندی مواد استفاده کرد (بسته بندی قابل خوردن Edible coating مثل بسته بندی پنیر).

آمیلوپکتین: در بیشتر نشاسته‌ها بخش اصلی نشاسته را تشکیل می‌دهد و بیش از ۷۰ درصد وزن نشاسته را شامل می‌شود. در این پلی‌مر نیز یک زنجیر اصلی با اتصالات $\alpha(1 \rightarrow 4)$ وجود دارد ولی به ازای هر ۷ تا ۸ واحد گلوکز یک زنجیره جانبی با ۲۰-۳۰ مولکول گلوکز قرار دارد که در این زنجیره هم اتصالات از نوع $\alpha(1 \rightarrow 4)$ است فقط در محل انشعابات اتصالات از نوع $\alpha(1 \rightarrow 6)$ است. از نظر وزن مولکولی آمیلوز بین ۱۰۰-۱۰۰۰ هزار دالتون است در حالی که وزن مولکولی آمیلوپکتین به $Da 1000000$ هم می‌رسد.

با توجه به این که بخش انشعابی آمیلوپکتین در ایجاد رنگ با ید دخالت دارد و این بخش انشعابی دارای حداکثر ۳۰ مولکول گلوکز است در نتیجه رنگ ایجاد شده توسط آمیلوپکتین با ید به رنگ قرمز باشد.

براساس نسبت آمیلوز به آمیلوپکتین نشاسته را به سه دسته تقسیم می‌کنند:

- ۱- آمیلوز بالا: این دسته بیش از ۷۵٪ آمیلوز دارند مثل نخود فرنگی و ذرت نشاسته‌ای (رنگ آبی با ید)
- ۲- آمیلوز متوسط: بین ۳۰-۱۷ درصد آمیلوز دارند مثل ذرت معمولی، گندم، سیب زمینی و برنج (رنگ ارغوانی با ید) و آمیلوپکتین ۷۰٪

- ۳- آمیلوز پایین: میزان آمیلوز تقریباً صفر است. مثل ذرت مومی Waxy Corn (رنگ قرمز با ید)

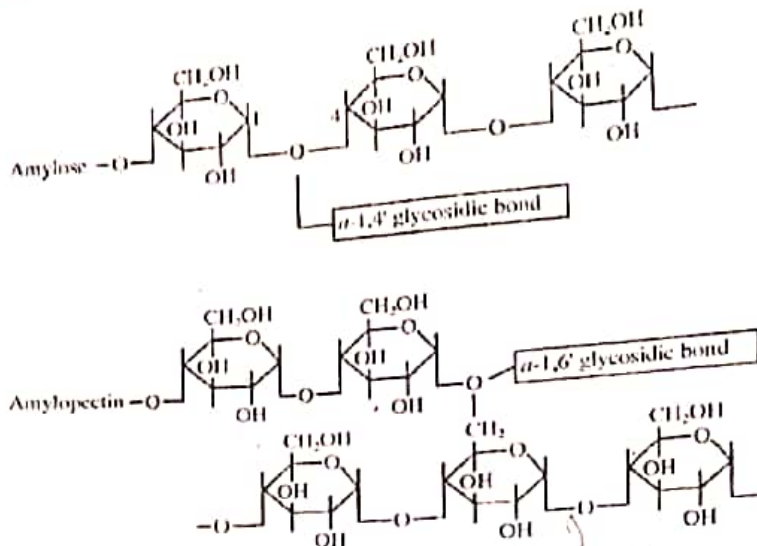


Fig. 7.2 Haworth representations of amylose and amylopectin.

ژلاتینه شدن Gelatinization نشاسته اصلاح نشده

نشاسته معمولی (Native starch) در آب سرد نامحلول است با این حال می تواند مقدار کمی آب حدود ۱۰-۱۷٪ جذب کند مقداری متورم شود. در این حالت مقدار جذب آب محدود است و تا دمای ۶۵ درجه افزایش حجم محدودی در گرانول حاصل می شود. ضمناً این تورم برگشت پذیر است. در اثر حرارت دادن مخلوط نشاسته در آب، نشاسته شروع به جذب آب می کند و در این حالت آب می تواند به راحتی در ساختار گرانول ها نفوذ کند و ساختار شعاعی آن ها را از بین ببرد. درجه ی حرارتی که در آن تورم برگشت ناپذیر اتفاق می افتد به نام دمای ژلاتینه شدن است و به این تورم برگشت ناپذیر هم ژلاتینه شدن گفته می شود. اندازه گیری افزایش ویسکوزیته محیط آبی حاوی نشاسته در اثر حرارت یک روش ساده برای ارزیابی پیشرفت ژلاتینه شدن می باشد. به طور کلی ژلاتینه شدن اکثر نشاسته ها تا حرارت ۹۵ درجه سانتیگراد صورت می گیرد. برای بررسی خصوصیات نشاسته در طی حرارت دهی می توان از دستگاه آمیلوگراف برابندر استفاده نمود. در شکل زیر یک نمودار معمول مربوط به پخت نشاسته های گندم، سیب زمینی و ذرت آورده شده است.

نشاسته های معمولی
اصلاح نشده

The parameters provided by the Amylograph are:

- Pasting temperature
- Peak viscosity (in Brabender Units)
- Holding strength (reading at the end of the 95°C heating period)
- Breakdown (peak viscosity - holding strength)
- Final viscosity (reading at the end of the cooling period)
- Setback (final viscosity - holding strength)

بازاید نمودن پودینه آمیلوگراف
از پس رفتن پودینه نشاسته - نشاسته
ژلاتینه نموده

برای نشاسته حل شدن استفاده نمی نم
حجم نشاسته برگشت پذیر است

ژلاتینه شدن
حل شدن
gelatinization
Gelation (ساختار جابه دارد)
له (در آب)
خبرکوب آب محیط نشاسته
دوام کربوهیدراتی
پودنه نشاسته - نشاسته
عالم هست.

دستور تهیه کتر ← محلی باغ تر

شیمی مواد غذایی: بخش کربوهیدرات ها / دانشنامه ای در زیر ۱۲۱ استرین کرد / دکتر صادقی

۲۷۰۰۰

دستگاه آمیلوگراف

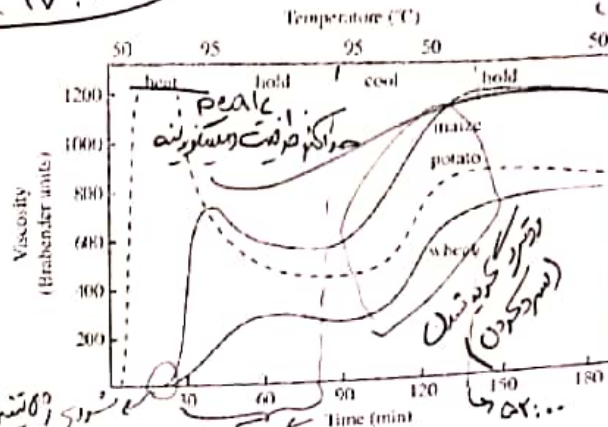


Fig. 7.5 Cooking curves for wheat, potato and corn (maize) starches (8% w/w) in the Brabender Amylograph. (Reprinted from Corneli HJ and Howelung AW: Wheat: Chemistry and Utilization p. 149, 1998, with kind permission of CRC Press, Boca Raton, FL, USA).

۱۵۰۰۰

برای اینکه هر چه ویسکوزیته برنج بیشتر باشد، باید نشاسته از برنج آمیلوز بالا باشد

عدت لغو کردن

گسلته شدن پلیمر توسط پاره های آمیلوگراف و کم شدن ویسکوزیته

۵۰۰۰

مقدور: وقت ویسکوزیته را در هر چه بیشتر می شود پیوند بیشتر می شود

۵۱۰۰۰

نشاسته های موجود در بازار ← از برنج قهوه ای

عوامل موثر بر ژلاتینه شدن

۱۲۱ دمای استرین

۱- میزان آمیلوز نشاسته

با دمای ژلاتینه شدن ارتباط مستقیم دارد یعنی هر چه آمیلوز بیشتر می شود، دمای ژلاتیناسیون بالاتر می رود. به عنوان مثال دمای ژلاتینه شدن ذرت مومی ۶۵ درجه، ذرت معمولی ۹۵ درجه ای سانتی گراد و نشاسته های آمیلوز بالا مثل نخود فرنگی و ذرت نشاسته ای بین ۱۷۰-۱۸۰ می باشد.

۲- اندازه ی گرانول

با زمان و دمای ژلاتینه شدن رابطه ی عکس دارد یعنی گرانول های بزرگتر در دماهای پایین تر متورم می شوند. مثلاً دمای ژلاتینه شدن نشاسته ی سیب زمینی از برنج کمتر است. نشاسته هایی که دارای گرانول های بزرگتر هستند Pick یا حداکثر ویسکوزیته ی بالاتری دارند.

۳- لیپیدا

کمپلکس اسیدهای چرب با آمیلوز مانع از نفوذ آب به داخل گرانول ها و خروج آمیلوز به فضای بین گرانولی و بنابراین افزایش دما و زمان ژلاتینه شدن می شود.

۴- حضور ترکیباتی مثل قندها

قندها بخصوص در غلظت های بالا با نشاسته رقابت می کنند و از آب گیری نشاسته جلوگیری می کنند بنابراین باعث افزایش دمای ژلاتینه شدن می شود. مشخص شده که قندها در غلظت بالا باعث کاهش میزان ژلاتینه شدن، کاهش حداکثر ویسکوزیته ی قابل دسترسی می شوند که در این رابطه دی ساکاریدها از مونو ساکاریدها موثرترند.

pH-۵ (۴۸:۲۰)

در محدوده ی pH ۴ تا ۷ که اکثر مواد غذایی دارای pH در این محدوده هستند غلظت یون $H^+(pH)$ اثر کمی روی تورم و ژلاتینه شدن نشاسته دارد. در حالی که در محصولات با pH پایین مثل سرسای

رابطه بین فشار و آمیلوگراف درجه بندی (wed. Oct 30) ۵۲

شیمی مواد غذایی: بخش کربوهیدرات ها

شکل یونید - رستوریت با ۲

شکل یونید - رستوریت کم دکنر صادقی

در محیط اسیدی
رستوریت کم حرکت

سالاد کاهش مشخصی در حداکثر ویسکوزیته و هم چنین کاهش سریع ویسکوزیته در طول سرد کردن آن
ها مشاهده می شود.

برگشت از حالت گدال به حالت

بلی سمارید - رستوریت کم

روتروگرید شدن Retrogradation (برگشت به عقب، واپس گرایی)

از نظر شیمیایی روتروگرید شدن تشکیل مجدد پیوندهای هیدروژنی بین نشاسته است (بویژه آمیلوز).
هنگامی که خمیر داغ نشاسته خیلی سریع سرد شود تشکیل زل (Gelation) می دهد اما اگر خمیر را
بصورت آرام سرد کنیم در این حالت به دلیل کاهش انرژی جنبشی سیستم مولکول های آمیلوزی که
بصورت پراکنده در محیط هستند، دیگر انرژی جنبشی خمیر نشاسته به حدی نیست که از تعادل و
آمادگی آن ها جهت پیوستن به یکدیگر جلوگیری کند. بنابراین با سرد شدن محیط مولکول های آمیلوز می
توانند به یکدیگر و همین طور به شاخه های آمیلوپکتین متصل شوند. در این حالت به دلیل اینکه این
مولکول های آمیلوز خطی هستند و معانعت فضایی بین آنها کم است بنابراین می توانند به آرامی در کنار هم
قرار بگیرند و بین آنها پیوند هیدروژنی برقرار شود که این امر تحت عنوان برگشت به عقب یا
روتروگرید شدن نشاسته نام گذاری می شود. مثل تشکیل پوسته روی آش، سوپ و فرنی.

رستوریت محدودی حر آمیلوز

بطور خلاصه:

- ۱- سرد کردن دیسپرسیون نشاسته در آب موجب تشکیل پیوندهای هیدروژنی نشاسته-نشاسته و کاهش پیوندهای هیدروژنی آب-نشاسته می گردد.
- ۲- خطی بودن زنجیره های آمیلوزی موجب معانعت فضایی کمتر، تحرک کمتر و نزدیک شدن بیشتر زنجیره ها به یکدیگر و تشکیل سریع تر پیوند هیدروژنی نسبت به مولکول های آمیلوپکتین می شود.
- ۳- اگر محلول نشاسته غلیظ باشد و سرعت سرد کردن بالا باشد پیوندهای هیدروژنی بین مولکول های نشاسته در نقاط محدودی تشکیل می شود که در این حالت آب را گیر می اندازد و شبکه ی ژل مانند به وجود می آید (نشاسته روتروگرید نمی شود).
- ۴- رقیق محلول نشاسته یا سرد کردن آرام محلول های غلیظ نشاسته موجب تشکیل پیوندهای هیدروژنی در نتیجه تبدیل شکل آمورف به کریستالی (روتروگرید شدن) می شود.
- ۵- نسبت آمیلوز به آمیلوپکتین بیشتر باعث روتروگرید شدن سریع تر می شود.

اثر طول زنجیره بر روی روتروگرید شدن

- ۱- رشته های بلند زنجیر با طول بیش از ۲۰۰۰ واحد گلوکز تعادل کمی به روتروگرید شدن دارند. P_{max}
- ۲- نشاسته هایی با طول زنجیره متوسط (حدود ۴۰۰ مولکول گلوکز) تعادل زیادی به روتروگرید شدن دارند.
- ۳- رشته های زنجیر کوتاه (در حدود ۲۰-۳۰ واحد گلوکز) تعادلی به روتروگرید شدن ندارند.

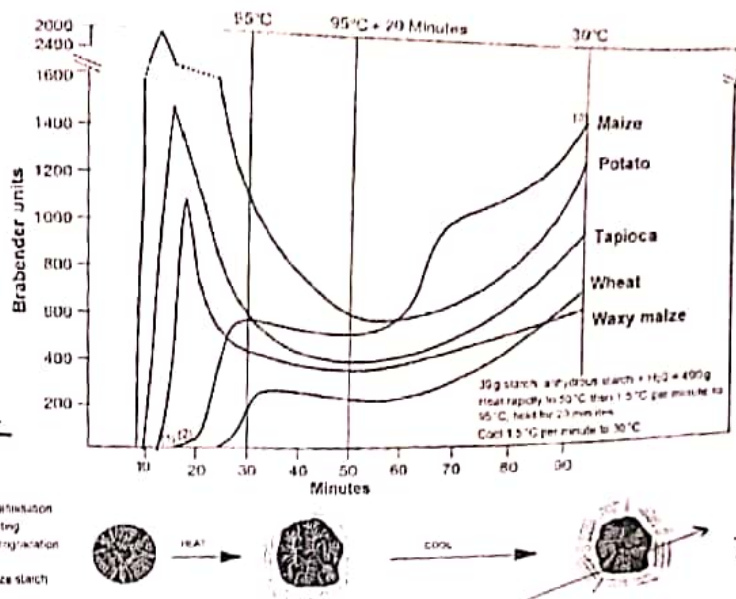


Fig. 12.3 Changes in traditional native starch during processing

یکی از دلایل اصلی در بیانی نان پدیدهای روتروگرید شدن بویژه روتروگرید شدن آمیلوپکتین است. زنجیره‌های آمیلوپکتینی با توجه به اتصالات جانبی خیلی زیادی که دارند خیلی دیر روتروگرید می‌شوند. به همین دلیل است که بیانی نان در طول زمان نسبتاً طولانی بعد از پخت به وقوع می‌پیوندد. در رابطه با نان پدیدهای روتروگرید شدن می‌تواند در طی دو مرحله به وقوع بپیوندد که مرحله اول بلافاصله بعد از پخت نان و مربوط به آمیلوز است. به این صورت که در طی پخت نان در اثر حرارت بالا مولکول‌های آمیلوز از گرانول‌های متورم شده‌ی نشاسته خارج و سپس در طی فرآیند سرد کردن نان می‌تواند در کنار یکدیگر قرار بگیرند و اصطلاحاً روتروگرید شوند که این حالت به نان حالت ارتجاعی می‌دهد، بطوری که اگر نان را فشار دهیم مجدداً ساختار خود را به دست می‌آورد. به هر حال بیانی اصلی نان ناشی از روتروگرید شدن آمیلوپکتین است که در طی زمان نگهداری نان به وقوع می‌پیوندد بطوری که زنجیره‌های آمیلوپکتینی بهم متصل می‌شوند و بین آن‌ها پیوند هیدروژنی برقرار می‌شود بطوری که به ازای تشکیل هر پیوند هیدروژنی یک مولکول آب از زنجیره خارج می‌شود. اتصالات بین آمیلوپکتین به دلیل اینکه تعداد اتصالات کمتر است ساختار ضعیف‌تری دارد و در نتیجه با حرارت دهی در دمای بالاتر از ۵۵ درجه می‌توان بخشی از این اتصالات را شکست و بنابراین ساختار اولیه‌ی نان تا حدی قابل بازیابی است. باتوجه به اینکه اتصالات بین آمیلوزها بیشتر و قوی‌تر است بنابراین چنین حرارت دهی نمی‌تواند تمام ساختار اولیه‌ی نان را بصورت کامل بازیابی کند.

بایستی توجه نمود که در جریان بیات شدن نان، موضوع از دست رفتن آب از ماده بیات شده چندان مطرح نیست زیرا با حرارت دادن نان می‌توان آن را تا حدودی به حالت اولیه بازگرداند (بنابراین بیانی در نتیجه از دست دادن رطوبت نیست بلکه نان در اثر بیانی رطوبت از دست می‌دهد). عمل بیات شدن در

برخی از دست دادن رطوبت ندارد

فرار دادن نان به بیاض
بخش لغزین که روتروگرید می‌شود
می‌شود، به همین خاطر فرار

جلاتینه شدن Gelatinization

encapsulation

رنگ پودمانی

Peak

جل شدن Gelation

۱۲۱°C

رنگی و گلیتینه شدن