



دانشگاه فردوسی مشهد

گروه علوم و صنایع غذایی

پایان نامه کارشناسی ارشد

تأثیر تیمارهای حرارتی بر خصوصیات عملکردی صمغ دانه شاهی و صمغ گزانتان

سارا ناجی طبسی

استاد راهنما

دکتر سید محمد علی رضوی

استادان مشاور

دکتر حجت کاراژیان

دکتر آرش کوچکی

شهریور ۱۳۹۰

صلاة الاضلاع

چکیده

هرچه دنیا به سمت مدرنیزاسیون سوق پیدا می‌کند، مصرف مواد غذایی فرآوری شده نیز افزایش می‌یابد و در نتیجه تقاضا برای هیدروکلوئیدها با ویژگی‌های خاص روبه افزایش بوده است. محصولات غذایی در طی فرآیند تولید، نگهداری و پخش تحت تیمارهای حرارتی مختلف همانند سرد کردن، انجماد، پاستوریزاسیون، استریلیزاسیون، تبخیر و ... قرار می‌گیرند که بر خصوصیات عملکردی محلول‌های هیدروکلوئیدی موثر هستند. در این تحقیق، تأثیر شرایط حرارتی مختلف (گرما، سرما و انجماد) بر خصوصیات رفتار جریان، تیکسوتروپی، بافت، امولسیون‌کنندگی و کف‌زایی صمغ دانه شاهی به عنوان یک منبع جدید هیدروکلوئیدی در مقایسه با صمغ گزانتان مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد که محلول‌های صمغ دانه شاهی خصوصیات رئولوژیکی، امولسیون‌کنندگی و کف‌کنندگی مطلوبی دارند. زمانی که نمونه‌های هیدروکلوئیدی حرارت داده شدند، یک افزایش غیرقابل بازگشت در ویسکوزیته صمغ دانه شاهی مشاهده گردید که منجر به بهبود خصوصیات امولسیون و کف‌کنندگی شد. در حالیکه صمغ گزانتان قابلیت مقاومت در برابر دمای بالا (121°C) را نداشت و خصوصیات عملکردی‌اش را از دست داد. در فرآیند انجماد، تبدیل آب به یخ منجر به افزایش اتصالات مولکولی و بهبود خصوصیات رئولوژیکی و بافتی صمغ دانه شاهی و صمغ گزانتان گردید. پس از یخچال‌گذاری نمونه‌ها تأثیر معنی‌داری در خصوصیات عملکردی محلول‌های هیدروکلوئیدی مشاهده نگردید. پایداری بالای صمغ دانه شاهی در طول فرآیندهای مختلف، مربوط به کنفورماسیون زنجیری سخت همانند گزانتان و نسبت بالای مانوز به گالاکتوز این صمغ است که آن را برای استفاده در محصولات غذایی با اهداف مختلف و کاهش آثار تخریبی ناشی از فرآیندهای حرارتی مناسب می‌سازد.

واژه‌های کلیدی: خصوصیات عملکردی، صمغ دانه شاهی، صمغ گزانتان، فرآیندهای حرارتی.

فهرست مطالب

| | |
|--|----|
| فصل ۱- مقدمه | ۱ |
| فصل ۲- بررسی منابع | ۴ |
| ۱-۲- صمغ دانه شاهی | ۴ |
| ۲-۲- صمغ گزانتان | ۶ |
| ۳-۲- اثر تیمارهای حرارتی بر خواص عملکردی هیدروکلوئیدها | ۸ |
| ۱-۳-۲- خصوصیات رئولوژیکی | ۸ |
| ۲-۳-۲- خصوصیات بافتی | ۱۱ |
| ۳-۳-۲- خصوصیات امولسیون کنندگی | ۱۶ |
| ۴-۳-۲- خصوصیات کف کنندگی | ۱۹ |
| فصل ۳- مواد و روش‌ها | ۲۴ |
| ۱-۳- مواد اولیه | ۲۴ |
| ۲-۳- عملیات استخراج | ۲۴ |
| ۳-۳- آماده‌سازی محلول‌ها | ۲۵ |
| ۴-۳- تیمارهای حرارتی | ۲۵ |
| ۱-۴-۳- تیمار فرآیندهای گرم کردن | ۲۵ |
| ۲-۴-۳- تیمار سرد کردن | ۲۵ |
| ۳-۴-۳- تیمار انجماد-خروج از انجماد | ۲۶ |
| ۵-۳- بررسی خصوصیات رئولوژیکی | ۲۶ |
| ۱-۵-۳- خصوصیات رئولوژیکی مستقل از زمان | ۲۶ |
| ۲-۵-۳- خصوصیات رئولوژیکی وابسته به زمان | ۲۸ |
| ۳-۵-۳- ارزیابی اعتبار مدل‌های برازش شده | ۲۹ |

| | |
|---------|--|
| ۲۹..... | ۶-۳ - بررسی خصوصیات بافتی |
| ۳۰..... | ۳-۶-۱- آزمون نفوذ سنجی..... |
| ۳۰..... | ۳-۶-۲- آزمون آنالیز پروفایل بافت |
| ۳۱..... | ۳-۷- خصوصیات امولسیون کنندگی |
| ۳۲..... | ۳-۷-۱- ظرفیت امولسیون کنندگی |
| ۳۲..... | ۳-۷-۲- پایداری امولسیون |
| ۳۲..... | ۳-۸- خصوصیات کف کنندگی |
| ۳۲..... | ۳-۸-۱- ظرفیت کف کنندگی |
| ۳۳..... | ۳-۸-۲- پایداری کف |
| ۳۳..... | ۳-۹- آنالیز آماری |
| ۳۴..... | فصل ۴- نتایج و بحث |
| ۳۴..... | ۴-۱- خصوصیات رئولوژیکی |
| ۳۴..... | ۴-۱-۱- خصوصیات رئولوژیکی مستقل از زمان |
| ۳۴..... | ۴-۱-۱-۱- تاثیر فرآیندهای گرم کردن |
| ۴۱..... | ۴-۱-۱-۲- تاثیر فرآیندهای سرد کردن |
| ۴۳..... | ۴-۱-۱-۳- تاثیر فرآیندهای انجماد-خروج از انجماد |
| ۴۶..... | ۴-۱-۲- خصوصیات رئولوژیکی وابسته به زمان |
| ۴۶..... | ۴-۱-۲-۱- تاثیر فرآیندهای گرم کردن |
| ۵۵..... | ۴-۱-۲-۲- تاثیر فرآیندهای سرد کردن |
| ۵۹..... | ۴-۱-۲-۳- تاثیر فرآیندهای انجماد-خروج از انجماد |
| ۶۴..... | ۴-۲- خصوصیات بافتی |
| ۶۴..... | ۴-۲-۱- تاثیر فرآیندهای گرم کردن |
| ۷۱..... | ۴-۲-۲- تاثیر فرآیندهای سرد کردن |

| | |
|----|---|
| ۷۳ | ۳-۲-۴- تاثیر فرآیندهای انجماد-خروج از انجماد..... |
| ۷۸ | ۳-۴- خصوصیات امولسیون کنندگی |
| ۷۹ | ۱-۳-۴- تاثیر فرآیندهای گرم کردن |
| ۸۰ | ۲-۳-۴- تاثیر فرآیندهای سرد کردن |
| ۸۱ | ۳-۳-۴- تاثیر فرآیندهای انجماد-خروج از انجماد..... |
| ۸۳ | ۴-۴- خصوصیات کف کنندگی |
| ۸۴ | ۱-۴-۴- تاثیر فرآیندهای گرم کردن |
| ۸۵ | ۲-۴-۴- تاثیر فرآیندهای سرد کردن |
| ۸۶ | ۳-۴-۴- تاثیر فرآیندهای انجماد-خروج از انجماد..... |
| ۸۸ | فصل ۵- نتیجه گیری و پیشنهادات..... |
| ۹۱ | فصل ۶- منابع |

فهرست اشکال

- شکل ۱-۲- ساختار اولیه صمغ گزانتان ۶
- شکل ۱-۴- تاثیر تیمارهای گرم کردن بر ویسکوزیته ظاهری محلول صمغ دانه شاهی (۱٪) ۳۵
- شکل ۲-۴- تاثیر تیمارهای گرم کردن بر ویسکوزیته ظاهری محلول صمغ گزانتان (۱٪) ۳۵
- شکل ۳-۴- ویسکوزیته محلول صمغ دانه شاهی (۶٪) به عنوان تابعی از زمان برش در شرایط مختلف گرم کردن (درجه برش 50 s^{-1}) ۴۷
- شکل ۴-۴- ویسکوزیته محلول صمغ دانه شاهی (۶٪) به عنوان تابعی از زمان برش در شرایط مختلف گرم کردن (درجه برش 50 s^{-1}) ۴۸
- شکل ۵-۴- تاثیر تیمارهای گرم کردن بر خصوصیات امولسیون کنندگی (ظرفیت و پایداری امولسیون) صمغ دانه شاهی (CSG) و صمغ گزانتان (XG) ۸۰
- شکل ۶-۴- تاثیر تیمارهای سرد کردن بر خصوصیات امولسیون کنندگی (ظرفیت و پایداری امولسیون) صمغ دانه شاهی (CSG) و صمغ گزانتان (XG) ۸۱
- شکل ۷-۴- تاثیر تیمارهای انجماد- خروج از انجماد بر خصوصیات امولسیون کنندگی صمغ دانه شاهی (CSG) و صمغ گزانتان (XG) ۸۲
- شکل ۸-۴- تاثیر تیمارهای گرم کردن بر خصوصیات کف کنندگی صمغ دانه شاهی (CSG) و صمغ گزانتان (XG) ۸۵
- شکل ۹-۴- تاثیر تیمار سرد کردن بر خصوصیات کف کنندگی صمغ دانه شاهی (CSG) و صمغ گزانتان (XG) ۸۶
- شکل ۱۰-۴- تاثیر تیمار انجماد- خروج از انجماد بر خصوصیات کف کنندگی صمغ دانه شاهی (CSG) و صمغ گزانتان (XG) ۸۷

فهرست جداول

- جدول ۴-۱-** پارامترهای رئولوژیکی مدل قانون توان برای محلول های صمغ دانه شاهی و صمغ گزانتان در شرایط گرم کردن مختلف. ۳۸
- جدول ۴-۲-** پارامترهای رئولوژیکی مدل بینگهام برای محلول های صمغ دانه شاهی و صمغ گزانتان در شرایط گرم کردن مختلف. ۴۰
- جدول ۴-۳-** پارامترهای رئولوژیکی مدل هرشل بالکی برای محلول های صمغ دانه شاهی و صمغ گزانتان در شرایط گرم کردن مختلف. ۴۰
- جدول ۴-۴-** پارامترهای رئولوژیکی مدل کاسون برای محلول های صمغ دانه شاهی و صمغ گزانتان در شرایط گرم کردن مختلف. ۴۱
- جدول ۴-۵-** پارامترهای رئولوژیکی مدل مستقل از زمان برای محلول های صمغ دانه شاهی و صمغ گزانتان در شرایط سرد کردن مختلف. ۴۳
- جدول ۴-۶-** پارامترهای رئولوژیکی مدل مستقل از زمان برای محلول های صمغ دانه شاهی و صمغ گزانتان تحت شرایط انجمادی مختلف. ۴۵
- جدول ۴-۷-** پارامترهای مدل تنزل تنش درجه اول با تنش تعادلی صفر برای محلول های صمغ دانه شاهی و گزانتان در شرایط گرم کردن مختلف. ۵۱
- جدول ۴-۸-** پارامترهای مدل تنزل تنش درجه اول با تنش تعادلی غیر صفر برای محلول های صمغ دانه شاهی و گزانتان در شرایط گرم کردن مختلف. ۵۱
- جدول ۴-۹-** پارامترهای مدل ولتمن برای محلول های صمغ دانه شاهی و گزانتان در شرایط گرم کردن مختلف. ۵۱
- جدول ۴-۱۰-** پارامترهای مدل سینتیک ساختاری درجه دوم برای محلول های صمغ دانه شاهی و گزانتان در شرایط گرم کردن مختلف. ۵۲
- جدول ۴-۱۱-** پارامترهای مدل قانون توان و مساحت حلقه هیستریزیس بدست آمده برای محلول های صمغ دانه شاهی برای منحنی های افزایش درجه برش و کاهش درجه برش در شرایط مختلف گرم کردن. ۵۴
- جدول ۴-۱۲-** پارامترهای مدل قانون توان و مساحت حلقه هیستریزیس بدست آمده برای محلول های صمغ گزانتان برای منحنی های افزایش درجه برش و کاهش درجه برش در شرایط مختلف گرم کردن. ۵۴

- جدول ۴-۱۳-** پارامترهای رئولوژیکی مدل وابسته به زمان برای محلول های صمغ دانه شاهی و صمغ گزانتان در شرایط سرد کردن مختلف ۵۷
- جدول ۴-۱۴-** پارامترهای مدل قانون توان و مساحت حلقه هیستریزس بدست آمده برای محلول های صمغ دانه شاهی و صمغ گزانتان برای منحنی های افزایش درجه برش و کاهش درجه برش در شرایط سرد کردن مختلف ۵۸
- جدول ۴-۱۵-** پارامترهای رئولوژیکی مدل وابسته به زمان برای محلول های صمغ دانه شاهی و صمغ گزانتان تحت شرایط انجمادی مختلف ۶۱
- جدول ۴-۱۶-** پارامترهای مدل قانون توان و مساحت حلقه هیستریزس بدست آمده برای محلول های صمغ دانه شاهی و صمغ گزانتان برای منحنی های افزایش درجه برش و کاهش درجه برش در شرایط انجمادی مختلف ۶۳
- جدول ۴-۱۷-** تاثیر تیمارهای گرم کردن مختلف بر خصوصیات بافتی صمغ دانه شاهی درآزمون نفوذ..... ۷۰
- جدول ۴-۱۸-** تاثیر تیمارهای گرم کردن مختلف بر خصوصیات بافتی صمغ دانه شاهی در آزمون آنالیز پروفایل بافت..... ۷۰
- جدول ۴-۱۹-** تاثیر شرایط سرد کردن بر خصوصیات بافتی صمغ دانه شاهی درآزمون نفوذ ۷۳
- جدول ۴-۲۰-** تاثیر شرایط سرد کردن بر خصوصیات بافتی صمغ دانه شاهی در آزمون آنالیز پروفایل بافت..... ۷۳
- جدول ۴-۲۱-** تاثیر انجماد بر خصوصیات بافتی صمغ دانه شاهی درآزمون نفوذ ۷۷
- جدول ۴-۲۲-** تاثیر انجماد بر خصوصیات بافتی صمغ دانه شاهی در آزمون آنالیز پروفایل بافت ۷۷

فهرست علائم و اختصارات

| علامت | معادل انگلیسی | معادل فارسی |
|----------------|--|-------------------------|
| TPA | Texture Profile Analysis | آنالیز پروفایل بافت |
| pH | Potential of hydrogen | پی اچ |
| τ | Shear stress | تنش برشی |
| τ_0 | Initial shear stress | تنش برشی اولیه |
| τ_{0H} | Herschel-Bulkley yield stress | تنش تسلیم هرشل بالکی |
| τ_{eq} | Equilibrium stress | تنش تعادلی |
| v | Volume | حجم |
| t | Time | زمان |
| $\dot{\gamma}$ | Shear rate | سرعت برشی |
| B | Extent of breakdown | سرعت تخریب ساختار |
| n | Flow behavior index | شاخص رفتار جریان |
| CSG | Cress seed gum | صمغ دانه شاهی |
| XG | Xanthan gum | صمغ گزانتان |
| k | Consistency coefficient | ضریب قوام |
| η | Viscosity | ویسکوزیته |
| η_0 | Initial apparent viscosity | ویسکوزیته ظاهری اولیه |
| η_∞ | Apparent viscosity at $t \rightarrow \infty$ | ویسکوزیته ظاهری بینهایت |

فصل ۱- مقدمه

هیدروکلوئیدها به مجموعه‌ای از پلی‌ساکاریدها و پروتئین‌ها اطلاق می‌گردد که با حل یا پخش شدن در آب ویسکوزیته را افزایش می‌دهند و امروزه به طور گسترده در صنایع مختلف با عملکردهایی نظیر سفت‌کنندگی (قوام‌دهندگی)، تشکیل ژل، فیلم‌ها و امولسیون‌ها، تثبیت کف، دسپرسیون‌ها، ممانعت از تشکیل کریستال‌های یخ و شکر و همچنین آزادسازی کنترل شده طعم‌ها به کار می‌روند (ویلیامز^۱ و فیلیپس، ۲۰۰۰). کاربرد و اهمیت هیدروکلوئیدها به خواص عملکردی آنها بستگی دارد که این خواص در مواد غذایی تحت تاثیر ساختمان ملکولی هیدروکلوئید، غلظت هیدروکلوئید، واکنش هیدروکلوئید با سایر ترکیبات ماده غذایی (نمک‌ها، قندها، چربی‌ها، پروتئین و...)، pH و شرایط فرآوری (مانند دما) می‌باشد (گلیکزمن^۲، ۱۹۸۲ و مارکوت^۳ و همکاران، ۲۰۰۱).

هیدروکلوئیدها در انواع مختلف موجود می‌باشند، اما از آنجائیکه تقاضای مصرف‌کنندگان با گذشت زمان تغییر کرده است و درک آنها از خصوصیات عملکردی صمغ‌ها در صنعت افزایش یافته است، تولیدکنندگان محصولات غذایی هیدروکلوئیدهایی را ترجیح می‌دهند که با روند تولید ماده غذایی هماهنگی بیشتری داشته باشد. در نتیجه افزایش تقاضا برای هیدروکلوئیدها با خواص عملکردی ویژه منجر به اهمیت یافتن منابع جدید صمغ‌ها با خواص مناسب گردیده است که در میان این منابع،

^۱- Williams

^۲- Glicksman

^۳- Marcotte

پلی‌ساکاریدهای گیاهی با توجه به دسترسی آسان، افزایش مصرف‌کنندگان مشتقات گیاهی و قیمت مناسب اهمیت فراوانی پیدا کرده است (ویلیامز و فیلیپس، ۲۰۰۰؛ آیمنسون^۱، ۲۰۱۰).

لیپیدیوم ساتیوم^۲ یا شاهی باغی گیاه علفی است که دانه‌های آن به علت وجود لایه‌های پلی‌ساکاریدی زمانی که در آب خیسانده می‌شوند، آب جذب می‌کنند و یک لایه موسیلاژی چسبناک در اطراف آن تولید می‌شود (رضوی و همکاران، ۲۰۰۷). صمغ دانه‌ی شاهی با رفتار جریان تضعیف‌شونده با برش برای استفاده در فرمولاسیون‌هایی که بافتی با لزجی کمتر یا احساس دهانی مطلوب‌تر مورد نیاز است، قابل کاربرد است. صمغ شاهی در غلظت‌های بسیار پایین از نظر خواص ویسکوالاستیک شبیه یک محلول (شبه مایع^۳)، در غلظت‌های متوسط مشابه یک محلول غلیظ رفتار می‌کند و در غلظت‌های بالاتر رفتار مایعات ساختاری^۴ را دارد. این صمغ دارای کنفورماسیون زنجیری نیمه سخت مشابه گزانتان است که برای تشکیل تجمعات و درگیری‌های ماکروملکولی مناسب است (کاراژیان و همکاران، ۲۰۰۹).

صمغ گزانتان یک پلی‌ساکارید خارج سلولی است که توسط میکروارگانیسم گزانتوموناس کمپستریس^۵ تولید می‌شود. این صمغ دارای خاصیت روان شدن در اثر برش است و یکی از مهمترین خصوصیات صمغ گزانتان پایداری ویسکوزیته آن در دامنه وسیعی از دما و pH می‌باشد. این صمغ به طور گسترده در مواد غذایی منجمد و محصولات اتوکلاوگذاری شده استفاده می‌شود (ویلیامز و فیلیپس، ۲۰۰۰).

محصولات غذایی طی فرآیندهای تولید و انبارداری در معرض فرآیندهای حرارتی مختلف نظیر تبخیر، پاستوریزاسیون، استریلیزاسیون، خشک کردن، سرد کردن و انجماد قرار می‌گیرند که با تغییرات دمایی بسیاری همراه است. برای ایجاد پایداری و ویسکوزیته ثابت و جلوگیری از سینرسیس محصولات غذایی طی این عملیات از هیدروکلوئیدها استفاده می‌شود. از سویی دیگر دما یکی از مهمترین عوامل تاثیرگذار بر روی خصوصیات عملکردی هیدروکلوئیدها نیز می‌باشد، از اینرو بررسی پایداری خصوصیات عملکردی هیدروکلوئیدها در دماهای مختلف بسیار حائز اهمیت است تا قابلیت استفاده از آنها در

^۱ - Imeson

^۲ - *Lepidium sativum*

^۳ - Liquid-like

^۴ - Structured liquid

^۵ - *Xanthomonas campestris*

فرمولاسیون‌های غذایی تعیین گردد. در این پژوهش خصوصیات عملکردی صمغ شاهی به عنوان یک منبع جدید هیدروکلوئیدی و گزانتان تحت تیمارهای حرارتی، سرما و انجماد مورد بررسی و مقایسه قرار گرفته شده است.

فصل ۲- بررسی منابع

۲-۱- صمغ دانه شاهی

دانه ی شاهی با نام علمی لپیدیوم ساتیوم از خانواده ی کروسیفرا^۱ بوده و در انگلیسی عموماً تحت عنوان "شاهی باغی"^۲، نامیده می‌شود. دانه شاهی یک گیاه کوچک علفی است که عموماً برای مصرف برگ‌های آن کاشته می‌شود و در سالادها و ساندویچ‌ها استفاده می‌شود. برگ‌ها و دانه‌ها تند و تیز هستند. از دانه‌های شاهی در اروپا به عنوان سالاد و به عنوان چاشنی غذا مصرف دارد. ترکیبات ثانویه اصلی این گیاه گلوکوزینولات‌ها هستند که از عصاره برگ‌ها و دانه‌ها ایزوله می‌شوند. بعلاوه، این گیاه منبع غنی از آلکالوئیدها است. دانه‌های شاهی دارای خصوصیات سلامت‌بخش می‌باشند و امکان استفاده از آن‌ها به عنوان یک افزودنی غذایی در فرمولاسیون فیبرهای رژیمی ثابت شده است (کاراژیان و همکاران، ۲۰۰۹؛ ۲۰۱۱).

هنگامی که دانه‌های شاهی خیس‌انده می‌شوند به سرعت آب جذب کرده و مایعی چسبناک و بی‌مزه تولید می‌کنند که حاوی مقدار بسیار زیادی ترکیبات موسیلاژی هستند (رضوی و همکاران، ۲۰۰۷). قسمت عمده صمغ دانه شاهی کربوهیدرات با مقدار قند حدود (۷۷٪)، مقدار اندکی پروتئین (۲/۴۰٪) و چربی (۱/۸۵٪) می‌باشد. قندهای اصلی تشکیل دهنده این صمغ؛ مانوز (۳۸/۹٪)، آرابینوز (۱۹/۴٪)، گالاکتورونیک اسید (۸/۰٪)، فروکتوز (۶/۸٪)، گلوکورونیک اسید (۶/۷٪)، گالاکتوز (۴/۷٪)،

^۱ -Cruciferea

^۲ -Garden cress

رامنوز (۱/۹) و گلوکز (۱) می‌باشد. حضور دو اسید ارونیک (۱۵) در این صمغ بیانگر طبیعت پلی الکترولیت صمغ است (کاراژیان و همکاران، ۲۰۰۹) به همین دلیل صمغ دانه شاهی در محلول های آبی که فاقد نمک است به علت دافعه الکتروستاتیکی موجود منبسط و گسترده شود و ویسکوزیته ذاتی بالایی را نشان دهد و هنگامی که نمک اضافه می‌شود، با پوشانده شدن گروه‌های باردار و انقباض ماکروملکول‌ها در حضور یون‌های مختلف، ملکول را تحت تاثیر قرار می دهد و به شکل میله‌ای در می‌آید و از اینرو حجم هیدرودینامیکی آن کاسته و در نتیجه ویسکوزیته ذاتی آن کاهش می‌یابد (کاراژیان و همکاران، ۲۰۱۱).

خصوصیات صمغ های دانه‌ای بستگی به ترکیبات قندی آنها دارد و میزان استخلاف‌ها باعث ایجاد تفاوت در رفتار هیدروکلوئیدها می‌گردد. آنالیز ترکیبات قندی در صمغ دانه شاهی نشانگر نسبت بالای مانوز/گالاکتوز (M/G)^۱ بوده که بیشتر از ۸/۲ می‌باشد (کاراژیان و همکاران، ۲۰۱۱).

صمغ دانه شاهی دارای متوسط وزن ملکولی معادل ۵۴۰ KDa و مقدار شعاع چرخش ۷۵ nm می‌باشد که نزدیک به شعاع چرخش گزانتان (۷۰-۹۰ nm) با وزن ملکولی مشابه است. این مطلب بیانگر این نکته است که جزء ماکروملکولی در صمغ دانه شاهی زنجیره سفت قابل مقایسه‌ای با گزانتان دارد. کنفورماسیون زنجیره‌ای نیمه سخت^۲ برای تشکیل تجمعات و توده‌ها و درگیری‌های ماکروملکولی مناسب و مطلوب است. جزء ماکروملکولی صمغ دانه شاهی کنفورماسیون زنجیری نیمه سخت با انعطاف پذیری بینابینی بین حلقه تصادفی^۳ و میله‌ای سخت^۴ دارد که این زنجیره سفت قابل مقایسه با گزانتان است. جزء ماکروملکولی صمغ با پروتئین در ارتباط است که ممکن است به صورت گلیکوپروتئین یا کمپلکس پروتئین-پلی‌ساکارید باشد (کاراژیان و همکاران، ۲۰۰۹).

صمغ دانه شاهی از نظر رفتار جریان دارای خصوصیات ضعیف‌شونده با برش است که سودوپلاستیسیته آن با افزایش غلظت و دما افزایش می‌یابد. با افزایش غلظت، ویسکوزیته صمغ دانه

^۱ - Mannose/Galactose ratio

^۲ - Semi - rigid

^۳ - Random coil

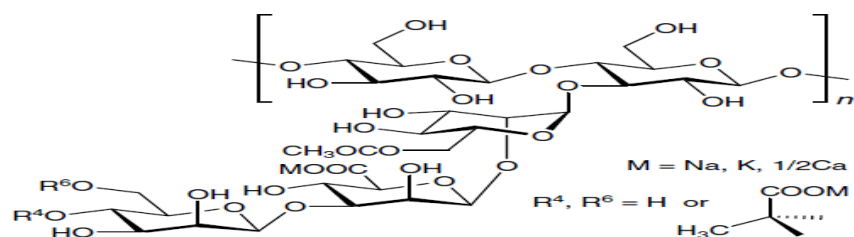
^۴ - Rigid rod

شاهی به دلیل افزایش محدودیت رانش ملکولی در اثر درگیری بین زنجیره‌های پلیمری افزایش می‌یابد (کاراژیان و همکاران، ۲۰۰۹ و ۲۰۱۱).

همچنین گزارش شده است که حلقه هیستریسیس به عنوان شاخص رفتار جریان وابسته به زمان برش برای صمغ شاهی در غلظت ۰.۶٪ (وزنی-وزنی) ظاهر می‌شود و مساحت این حلقه (وابستگی به زمان) با افزایش دما و غلظت افزایش پیدا می‌کند (کاراژیان و همکاران، ۲۰۰۹).

۲-۲- صمغ گزانتان

صمغ گزانتان یک پلی‌ساکاریدی با وزن ملکولی بالا است که ساختمان شیمیایی اولیه آن حاصل واحدهای پنتاساکاریدی از دو واحد گلوکز، دو واحد مانوز و یک واحد گلوکورونیک اسید در نسبت مولار ۲/۸ : ۰/۲ : ۰/۲ است. اسکلت اصلی شامل واحدهای گلوکز است که با باندهای گلیکوزیدی ۱-۴-β به یکدیگر متصل شده‌اند. بین دو مانوز زنجیره‌های جانبی تری‌ساکاریدی شامل واحدهای دی‌گلوکورونیک اسید به موقعیت ۳-O هر گلوکز متصل شده است. اتصالات دی‌مانوز دارای واحدهای اسید پیروویک است که از طریق گروه کتو به موقعیت ۴ و ۶، با توزیع نامشخص متصل شده‌اند. واحدهای دی‌مانوز متصل به زنجیره اصلی همچنین دارای گروه‌های استیل در موقعیت ۶-O هستند. حضور اسید استیک و پیروویک در گزانتان باعث تولید پلی‌ساکاریدی آنیونی شده است (شکل ۱-۲). زنجیره‌های جانبی در اطراف اسکلت اصلی پیچیده می‌شوند و آن را مستحکم و سفت می‌کند (گارسیا-اوجوآ^۱ و همکاران، ۲۰۰۰؛ ویلیامز و فیلیپس، ۲۰۰۰).



شکل ۱-۲- ساختمان اولیه صمغ گزانتان

^۱ - García-Ochoa

صمغ گزانتان به طور کامل در آب سرد یا گرم حل می‌شود اما در بسیاری از ترکیبات آلی نامحلول است. این صمغ دارای خاصیت شل‌شوندگی در اثر برش است که پس از حذف برش به مقدار ویسکوزیته اولیه می‌رسد. ویسکوزیته پایین آن در درجه برش‌های بالا باعث می‌شود که عمل مخلوط کردن، ریزش آسان گردد.

اثر الکترولیت‌ها بر محلول صمغ گزانتان به غلظت صمغ بستگی دارد. در غلظت‌های پایین‌تر از ۰/۲۵٪ صمغ گزانتان، افزودن الکترولیت‌هایی مانند کلرور سدیم، باعث کاهش اندک ویسکوزیته می‌شود، در حالیکه در غلظت‌های بالای صمغ، الکترولیت اثر معکوس دارد. بیشترین میزان ویسکوزیته در غلظت‌های ۰/۱٪ کلرور سدیم مشاهده شده است و افزودن بیشتر نمک اثر کمی بر ویسکوزیته صمغ دارد (سورن^۱، ۲۰۰۰).

ویسکوزیته محلول گزانتان در محدوده pH بین ۱۲-۲ تغییر نمی‌کند. این صمغ مستقیماً در اسید استیک ۰/۵٪، اسید سولفوریک ۰/۵٪، اسید نیتریک ۰/۵٪، اسید فسفوریک ۰/۲۵٪ و هیدروکسید سدیم ۰/۵٪ حل می‌شود. خاصیت قوام‌دهندگی (سفت‌کنندگی) این صمغ در دمای خاص تا چند ماه بدون تغییر باقی می‌ماند (سورن، ۲۰۰۰).

این صمغ علاوه بر قوام‌دهندگی دارای خواصی چون پایدارکنندگی، امولسیون‌کنندگی و کف‌کنندگی نیز می‌باشد و به طور گسترده در مواد غذایی منجمد و محصولات اتوکلاوگذاری شده استفاده می‌شود (سورن، ۲۰۰۰).

^۱ - Sworn

۲-۳- اثر تیمارهای حرارتی بر خواص عملکردی هیدروکلوئیدها

۲-۳-۱- خصوصیات رئولوژیکی

مطالعه خصوصیات رئولوژیکی هیدروکلوئیدها، زمانیکه به منظور اصلاح ویژگی‌های بافتی مواد غذایی به کار می‌روند، حائز اهمیت است. خصوصیات رئولوژیکی برای محاسبات در هر فرآیندی (نظیر پمپ کردن، فیلتراسیون، عصاره‌گیری و تصفیه) که شامل جریان مایع باشد مورد نیاز بوده و نقش مهمی در آنالیز شرایط جریان فرآیندهای غذایی نظیر پاستوریزاسیون، تبخیر و خشک کردن دارند (مارکوت و همکاران، ۲۰۰۱).

هیدروکلوئیدهای غذایی، ترکیبات پیچیده‌ای هستند که عوامل مختلفی از جمله، غلظت صمغ، دما، pH، بار الکتریکی، میانگین پراکندگی، نوع حلال، بار الکتریکی، تیمارهای حرارتی و مکانیکی اعمال شده بر آن، حضور یا عدم حضور کلوئیدهای لیپوفیلیک، حضور و یا عدم حضور الکترولیت‌ها بر رفتار جریان آنها اثرگذار هستند (مارکوت و همکاران، ۲۰۰۱). از سویی دیگر، مواد غذایی معمولاً طی فرآیندهای تولید در معرض تیمارهای حرارتی قرار می‌گیرند که بر خصوصیات رئولوژیکی محلول‌های هیدروکلوئیدی موثر هستند. از این جهت محققین زیادی تأثیر شرایط حرارتی مختلف بر رفتار جریان هیدروکلوئیدها را مورد بررسی قرار داده‌اند.

چن^۱ و همکاران (۱۹۸۵) گزارش نموده‌اند که محلول صمغ آلژینات باکتریای (۰/۰۶٪) و جلبکی (۰/۰۲٪) پس از حرارت‌دهی در دمای ۷۵°C به مدت ۳۰ دقیقه و سپس سرد کردن آن قادر به بازیابی ویسکوزیته اولیه خود است، اما حرارت‌دهی در دماهای بالاتر (۱۲۱°C) منجر به کاهش ویسکوزیته محلول آلژینات می‌گردد.

اشمیت^۲ و اسمیت (۱۹۹۹) تأثیر تیمار حرارتی (۸۱°C به مدت ۲۵ s) را بر روی برهمکنش پروتئین‌های شیر و صمغ‌های کاپا-کاراجینان، گوار، گزانتان در غلظت‌های ۰/۰۵، ۰/۱ و ۰/۲٪ بررسی

^۱-Chen

^۲-Schmidt

کردند و مشاهده نمودند که برای هیدراتاسیون کامل کاراجینان تیمار حرارتی کافی احتیاج است و دمای بالا به مدت طولانی باعث کاهش ویسکوزیته صمغ گوار- پروتئین شیر گردید، ولی صمغ گزانتان به شرایط اعمال شده حساس نبود.

کوک^۱ و همکاران (۱۹۹۹) خصوصیات رئولوژیکی صمغ لوبیای اقاقای خام و تصفیه شده را طی تیمارهای حرارتی مختلف مورد بررسی و مقایسه قرار دادند. نتایج این پژوهش نشان داد که لوبیای اقاقای خام پس از اعمال حرارت ویسکوزیته کمتری دارد.

هگدوسیک^۲ و همکاران (۲۰۰۰) تاثیر فرآیند انجماد-خروج از انجماد را بر خصوصیات رئولوژیکی محلول‌های مدل کربوکسی متیل سلولز و آب پنیر مورد بررسی قرار دادند. نتایج این پژوهش نشان داد که فرآیند انجماد هیچ تاثیر معنی‌داری بر ویسکوزیته تهیه شده در آب ندارد. در حالیکه محلول‌های برپایه آب پنیر پس از انجماد ویسکوزیته بیشتری داشتند.

برنان^۳ و همکاران (۲۰۰۴) پایداری خمیر نشاسته بومی و نشاسته بومی-گزانتان را طی انجماد مورد بررسی قرار دادند و گزارش کردند که با افزودن صمغ گزانتان به نشاسته، پایداری انجماد/خروج از انجماد نشاسته بهبود پیدا می‌کند و دلیل آن را رقابت بین نشاسته و صمغ برای آب عنوان کرده‌اند. بنابراین با انتخاب دقیق نشاسته و صمغ‌ها می‌توان مقاومت را در برابر آسیب‌های ناشی از انجماد بالا برد. مائو^۴ و چن (۲۰۰۶) تاثیر تیمار انجماد-خروج از انجماد را بر رفتار تیکسوتروپی صمغ لوبیای اقاقیا و گوار مورد ارزیابی قرار دادند. آنها مشاهده نمودند که صمغ لوبیای اقاقیا در غلظت ۰/۲٪ با ۰/۶٪ ساکارز فاقد رفتار تیکسوتروپی است، ولی پس از انجماد کاهش تدریجی ویسکوزیته با زمان در این صمغ مشاهده گردید. برای محلول صمغ گوار حتی پس از انجماد نیز رفتار تیکسوتروپی گزارش نشده است.

فریتاس^۵ و همکاران (۲۰۰۹) خصوصیات رئولوژیکی محلول‌های پلی‌ساکاریدی استخراج شده از سودوموناس اولتورانس^۱ را پس از حرارت‌دهی (۱۰۰ و ۱۲۰ °C به مدت ۱ ساعت و ۱۲۰ °C، فشار ۱ bar

^۱ - Kök

^۲ - Hegeđušić

^۳ - Brennan

^۴ - Mao

^۵ - Freitas

برای ۲۰ دقیقه) مورد مطالعه قرار دادند و مشاهده کردند که ویسکوزیته محلول‌های این پلی‌ساکارید پس از حرارت‌دهی کاهش می‌یابد. با حرارت‌دهی در 100°C نیمی از ویسکوزیته از بین رفت و با قرارگیری در معرض دماهای بالاتر (120°C) این کاهش بیشتر گردیده است. هیچ تفاوتی بین حرارت‌دهی در 120°C و حرارت‌دهی در این دما با فشار ۱ bar مشاهده نشد.

یامازاکی^۲ و همکاران (۲۰۰۹) با بررسی تاثیر حرارت (۶۰، ۸۰، ۱۰۰، 121°C به مدت ۳۰ دقیقه) بر روی هیدروکلوئید برگ کورکوروس اولیتوریئوس^۳ دریافتند که ویسکوزیته آن زیر 60°C تقریباً برگشت پذیر است و در دمای بالاتر از 100°C ویسکوزیته کاهش می‌یابد که علت آن تخریب حرارتی ملکول‌ها می‌باشد. زمانی که محلول هیدروکلوئید تا دمای بیشتر از 60°C (~ ۱۰۰) حرارت دید، ویسکوزیته به طور مشهودی افزایش پیدا کرد. اما وقتی که محلول‌ها را در دمای اتاق تهیه و سپس حرارت دادند، ویسکوزیته افزایش یافت که علت آن را کامل هیدراته نشدن هیدروکلوئیدها در دمای اتاق بیان داشتند.

ویلیامز و همکاران (۲۰۰۹) پایداری مخلوط صمغ‌های گوار، لوبیای ااقایا، گزانتان و کاراجینان با کردلان را در طی ۵ مرحله انجماد بررسی و مشاهده کردند که مخلوط‌های صمغ گوار/ کردلان و گزانتان/ کردلان در نسبت ۱٪ (وزنی/حجمی) پس از انجماد ویسکوزیته پایداری دارند، ولی صمغ ااقایا بین/ کردلان و کاراگینان/ کردلان در طی ۵ مرحله پایدار نبودند.

حسینی‌پرور و همکاران (۲۰۱۰) تاثیر حرارت (۴۰، ۶۰، ۸۵، 100°C و 121°C به مدت ۳۰ دقیقه) و انجماد-خروج از انجماد (18°C - به مدت ۲۴ ساعت) را بر ویسکوزیته ظاهری صمغ دانه ریحان در غلظت ۱٪ (وزنی-وزنی) مورد بررسی قرار دادند و گزارش نمودند که در ویسکوزیته ظاهری محلول‌های صمغ پس از اعمال تیمارهای حرارتی تغییری ایجاد نگردیده است.

^۱- *Pseudomonas olearanse*

^۲- Yamazaki

^۳- *Corchorus olitorius*l