Archive of SID

تعیین ضریب نفوذ نمک در بافت سیب زمینی

بهروز مصیبی دهکردی[a*] ، فرزانه هاشمی[b]

[a] استادیار گروه مهندسی شیمی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران

[b] کارشناس ارشد مهندسی شیمی – صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۸۸/۶/۲۳ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۸۸/۱۲/۱۸

چکیده

مقدمه: محاسبه ضریب نفوذ تئوری در جامدات با محدودیت‌های زیادی مواجه است. به همین دلیل در اغلب پژوهش‌های مرتبط با نفوذ مولکولی در جامدات و مواد غذایی، ضریب نفوذ مؤثر با روش‌های آزمایشگاهی اندازه‌گیری می‌شود. در این پژوهش ضریب نفوذ مؤثر نمک طعام در بافت سیب زمینی به روش آزمایشگاهی و با استفاده از حل تحلیلی معادلات فیک در انتقال جرم اندازه‌گیری شد.

مواد و روش‌ها: برش‌های استوانه‌ای شکل سیب زمینی به قطر ۳ سانتی متر و طول ۳/۵ سانتی متر در محلول‌های آب نمک غوطه‌ور شد. دیواره جانبی این برش‌ها توسط عایق مناسب پوشانده شد تا انتقال جرم فقط به صورت یک بعدی صورت گیرد. با اندازه گیری کاهش هدایت الکتریکی محلول آب نمک، تغییرات غلظت نمک در محلول و در نتیجه سرعت نفوذ نمک در سیب زمینی به‌دست آمد.

یافته‌ها: با افزایش غلظت محلول آب نمک، ضریب نفوذ نمک در سیب زمینی افزایش می‌یابد. اما در غلظت‌های بالاتر، این تاثیر چندان مشهود نیست. بعد از زمان ۳۰۰ دقیقه غلظت نمک در سیب زمینی به تعادل می‌رسد و نفوذ بیشتری صورت نمی‌گیرد. با استفاده از نتایج آزمایشگاهی و حل تحلیلی معادلات فیک، ضریب نفوذ نمک در سیب زمینی برای محلول نمک ۱ تا ۳ درصد (w/v) در دمای ۲۴ °C در محدوده $(۳/۴۵-۴/۳۹)\times۱۰^{-۹}\ m^2/s$ به‌دست آمد.

نتیجه‌گیری: بر اساس نتایج این پژوهش، معادلات فیک در انتقال جرم و حل تحلیلی آن که توسط کرانک ارائه شده است با دقت بالائی مکانیسم انتقال جرم در جامدات را تشریح می‌نماید. به‌علاوه، بررسی‌ها نشان داد که ضریب نفوذ نمک در سیب زمینی چندان تابع شرایط رشد آن نیست و به همین دلیل اکثر تحقیقات انجام شده در این زمینه به نتایج مشابهی رسیده است.

واژه‌های کلیدی: *آب نمک، سیب زمینی، ضریب نفوذ، معادله کرانک*

www.SID.ir

* نویسنده مسئول مکاتبات email: bmosayebi@gmail.com

Archive of SID

مقدمه

نفوذ مولکولی یکی از مکانیسم‌های مهم انتقال جرم است که به دو شکل کلی لیچینگ[1] و القاء[2] در بسیاری از فرآیندهای صنایع غذایی به کار می رود. در لیچینگ جسم حل شونده از جامد به مایع انتقال می‌یابد و از آن بیشتر به منظور استخراج قند، روغن‌های گیاهی، قهوه، چای، ژلاتین، پکتین و سایر حل شونده ها استفاده می شود (Wang & Sastry, 1993). تحقیقات زیادی پیرامون بهبود فرایند لیچینگ انجام شده است، نظیر بررسی‌های به‌عمل آمده جهت بهبود استخراج شکر از چغندر قند یا فرآیند غوطه وری دو مرحله ای استخراج گلوکز از سیب زمینی در دماهای مختلف (Schwartzberg & Chao, 1982). در القاء، جسم حل شونده از مایع به جامد انتقال می‌یابد که برای انتقال طعم، رنگ و عوامل بهبود دهنده به داخل ماده غذایی به‌کار می‌رود. همانند لیچینگ، القاء نیز از اهمیت به سزایی در فرایندهای صنایع غذایی برخوردار است. ولی باید توجه داشت که در تعیین پارامترهای القاء در برخی مواد نظیر گوشت محدودیت‌هایی وجود دارد. دودی کردن، نمک زدن و افزودن افزودنی‌ها (مانند نیتریت سدیم) می‌تواند نقش مهمی در نفوذ و فرآیندهای مرتبط با گوشت داشته باشد (Wood, 1966).

بر خلاف تحقیقات گسترده‌ای که بر روی گوشت صورت گرفته، در مورد سبزیجات بررسی های کم‌تری به عمل آمده است. مهم‌ترین مانع در مسیر هرگونه تحقیقات بر روی نفوذ در مواد غذایی تعیین ضریب انتقال جرم در سیستم مورد نظر است. تلاش‌هایی برای تعیین ضریب انتقال جرم در برخی سیستم‌های صورت گرفته است. Stahl و Loncin (۱۹۷۹) از سبزیجات به عنوان یک ماده غذایی در فرآیند القاء استفاده کردند. آن‌ها نمونه‌های سیب زمینی را در محلول های ۱-۰/۵ درصد سیکلوهگزانول تحت عمل جذب قرار دادند. ضرایب نفوذ و نمودار غلظت حل شونده در نمونه ها با اندازه‌گیری میزان جذب سیکلوهگزان در نمونه‌های سیب زمینی تعیین شد. اثر فشار نیز توسط برخی از محققین مورد بررسی قرار گرفته و نشان داده شده است که فشارهای بالا، منجر به ژلاتینه شدن نشاسته و به تاخیر افتادن پدیده نفوذ ساکارز در سیب زمینی می‌شود (Rodriguez & Mauro, 2008). این موضوع تعیین ضریب انتقال جرم را با مشکلات بیشتری مواجه می‌سازد (Barnard *et al*., 2003). برخی نیز تلاش کرده اند بدون تعیین ضریب نفوذ، غلظت برخی مواد نظیر ساکارز را در میوه جات به‌دست آورند (Schwartzberg & Chao, 1982). در فرآیند خشک کردن اسمزی آناناس و نفوذ ساکارز در آن مشاهده شد که بین غلظت ساکارز و میزان آب موجود در نمونه یک رابطه خطی برقرار است. ولی همچنان تعیین ضریب نفوذ به عنوان اولین گام بررسی نفوذ در صنایع غذایی مورد علاقه محققین بوده است. نشان داده شده که ضریب نفوذ ساکارز در سیب در محدوده $(۳۵/۹۳۰ - ۷/۶۰۳) \times ۱۰^{-۱۱} m^2/s$ قرار دارد (Conway *et al*., 2005). آبگیری از پیاز به روش غوطه وری در محلول اسمزی حاوی نمک نشان داد که تغییرات غلظت آب نمک نسبت به تغییرات دما تأثیر بیشتری بر ضریب نفوذ نمک در پیاز دارد (Baroni & Huming 2003). Sarang و Sastry (۲۰۰۷) با قرار دادن غشایی از سبزی چینی بین آب مقطر و محیط حاوی غلظت‌های مختلفی از آب نمک تاثیر غلظت بر روی ضریب نفوذ را بررسی کردند. در این بررسی‌ها از محلول‌هایی با غلظت‌های بین ۳-۱ درصد (w/v) استفاده شد. بررسی‌های به عمل آمده بر روی نفوذ سدیم کلراید و قند در خیار نشان داد که معادلات فیک به خوبی این پدیده نفوذ را توجیه می‌نماید (Fsina *et al*., 2002).

تعیین ضریب نفوذ نمک در گونه های سیب زمینی ایرانی می‌تواند زمینه ساز تحقیقات بعدی نظیر تعیین عمق نفوذ نمک، مدلسازی نفوذ، تعیین ضرایب انتقال جرم بین دوفاز، تعیین نمودار تغییرات غلظت نمک در سیب زمینی و ... باشد. در این پژوهش، ضریب نفوذ نمک در یکی از گونه های سیب زمینی ایران (نوع دماوندی) به صورت آزمایشگاهی و با روش غوطه‌وری تعیین شد. اندازه‌گیری غظت نمک در محلول از روش هدایت سنجی و محاسبه ضریب غلظت بر اساس معادلات کرانک صورت گرفت. بررسی‌ها نشان داد که در غلظت‌های بالاتر آب نمک، ضریب نفوذ نمک در سیب زمینی عدد بزرگتری است.

1 -Leaching

2- Infusion

www.SID.ir

Archive of SID

قوانین فیک

بر اساس قانون اول فیک در یک شرایط عملیاتی (دما و فشار) خاص و برای یک سیستم دو جزئی نسبت شار مولی جزء A به گرادیان غلظت جزء A در فاصله Z مقداری ثابت است:

$$\frac{J_{Az}}{dC_A/dz} = cte = D_{AB} \qquad (۱)$$

در این رابطه:

J_{AZ} = A فلاکس مولی جزء $\left[\frac{kmol}{m^2 s}\right]$

$\frac{dC_A}{dz}$ = A گرادیان غلظت جزء

قانون اول فیک به شکل زیر شناخته می‌شود :

$$J_{Az} = -D_{AB}\frac{dC_A}{dz} \qquad (۲)$$

که در آن D_{AB} ضریب نفوذ جزء A در محیط B است و با واحد $\frac{m^2}{s}$ بیان می‌شود. ضریب نفوذ در مایعات علاوه بر دما قویاً به غلظت بستگی دارد. نشان داده شده است که ضرایب نفوذ مؤثر حاصل از کار تجربی بر روی انتقال جرم در یک شکل هندسی خاص را می‌توان برای انتقال جرم همان سیال در اشکال هندسی دیگری از همان نوع جامد مورد استفاده قرار داد (بهمنیار، ۱۳۸۲). به عبارت دیگر، سیستم‌ها در برابر انتقال جرم به صورت آیزنتروپیک عمل می‌نمایند. به طور کلی پیش بینی ضریب نفوذ در جامدات نسبتاً مشکل بوده و به صورت تجربی قابل دستیابی است. با توجه به عدم توافق مقدار انتقال جرم به‌دست آمده ازروابط تئوری و مقادیر تجربی و بدلیل عدم شناخت کافی از ساختمان جامد و نحوه نفوذ، ضرایب نفوذ مؤثر تعریف می‌شود.

در آزمایش‌های انجام شده در خصوص نفوذ یون‌های مختلف نظیر سدیم، پتاسیم و غیره در بافت سبزی‌ها و میوه‌ها یکی از مهم‌ترین روابطی که اساس کار قرار می‌گیرد قانون دوم فیک است که شکل یک بعدی آن در معادله (۳) دیده می‌شود:

$$\frac{dC_A}{dt} = D_s\frac{\partial^2 C_A}{\partial x^2} \qquad (۳)$$

هرگاه در موضعی خاص درون سیستم تغییرات غلظت با زمان وجود داشته باشد انتقال جرم در حالت غیر یکنواخت مطرح خواهد شد. در بسیاری از فرآیندهای عملیاتی نظیر خشک کردن و استخراج مایع – مایع انتقال جرم غیر یکنواخت مطرح می‌شود. اغلب انتقال جرم غیر یکنواخت در اجسام استوانه‌ای در پدیده‌هایی نظیر خشک کردن دیده می‌شود (Bahadur *et al*., 2007).

مواد و روش‌ها

نمک طعام با خلوص بالا از طریق سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی تهیه گردید. سیب زمینی گونه‌ی دماوندی به صورت تازه و یک شکل از بازار خریداری شد و در آزمایش‌ها به کار رفت. برای اندازه‌گیری میزان نمک با استفاده از روش هدایت سنجی از دستگاه هدایت سنج مدل Cryson استفاده شد. با استفاده از نمک طعام و آب مقطر، غلظت‌های مناسبی از آب نمک (غلظت‌های ۱، ۲ و ۳ درصد w/v) تهیه و پس از اندازه‌گیری هدایت الکتریکی هر محلول، در ظروف در بسته نگهداری شد.

هر عدد سیب زمینی پس از شستشوی اولیه و جدا کردن پوست آن، یک بار دیگر با آب معمولی و سپس با آب مقطر شستشوداده شد. با استفاده از قالب استوانه‌ای شکل فولادی که از قبل آماده شده بود، با دقت و به گونه‌ای که بافت سیب زمینی آسیب نبیند برشی استوانه‌ای شکل به قطر ۳ سانتی متر و طول ۳/۵ سانتی متر از آن برداشته شد. دیواره

C_A :	غلظت مولی جزء A	(mol/cm^3)	X :	غلظت نمک در جامد	(mol/cm^3)
D_{AB}:	ضریب نفوذ جزء A در B	(m^2/s)	X_0 :	غلظت اولیه نمک در جامد	(mol/cm^3)
D_s :	ضریب نفوذ در جامد	(m^2/s)	X_∞ :	غلظت تعادلی نمک در جامد	(mol/cm^3)
F :	حجم نمونه جامد	(cm^3)	Y :	غلظت نمک در محلول	(mol/cm^3)
J_{AZ} :	شار نفوذ جزء A در B	$(kmol/m^2.s)$	Y_0 :	غلظت اولیه نمک در محلول	(mol/cm^3)
L :	حجم نمونه محلول	(cm^3)	Y_∞:	غلظت تعادلی نمک در محلول	(mol/cm^3)
m :	ضریب توزیع تعادلی		α :	نسبت حجمی مؤثر	
q_n :	Eigen Value				

www.SID.ir

Archive of SID

جانبی این برش استوانه‌ای شکل، با دقت توسط یک عایق مناسب پوشانده شد تا انتقال جرم فقط به صورت یک بعدی در جهت z صورت گیرد.

برای هر آزمایش ۲۰۰ سی سی از محلول آب نمک درون بشر ریخته شد و پس از قرار دادن همرن مغناطیسی در آن، دور همزن روی ۲۰۰ rpm تنظیم گردید تا غلظت محلول در کل بشر یکنواخت باقی بماند. برش استوانه‌ای شکل سیب زمینی که دیواره جانبی آن عایق شده بود به کمک سیم روکش دار، درون محلول به صورت معلق نگه داشته شد تا نفوذ نمک در بافت سیب زمینی انجام شود. هر نیم ساعت یکبار از محلول نمونه گیری شد و به کمک دستگاه هدایت سنج، هدایت الکتریکی آن تعیین گردید. همانگونه که انتظار می‌رفت با گذشت زمان، هدایت الکتریکی محلول کاهش یافت. این کار تا زمان ثابت ماندن عدد هدایت سنج (حدود ۵ ساعت) ادامه یافت. سپس سیب زمینی از داخل محلول خارج شد و هدایت الکتریکی نهایی محلول نیز اندازه‌گیری و ثبت شد. کلیه آزمایش‌ها در دمای ۲۴ °C انجام شد و برای جلوگیری از تاثیر نوسانات دمای محیط بر دمای محلول، همه آزمایش‌ها زیر یک پوشش مناسب انجام گرفت. هر آزمایش ۴ مرتبه تکرار و میانگین نتایج گزارش شد.

یافته‌ها

ارقام به‌دست آمده از اندازه گیری هدایت الکتریکی محلول‌های آب نمک در زمان های مختلف، با استفاده از محلول‌های استاندارد به غلظت تبدیل شدند. نتایج نهایی در جدول ۱ نشان داده شده است. همانگونه که مشاهده می‌شود برای کلیه محلول‌ها در ۳۰ دقیقه اول کاهش بسیار اندکی در غلظت محلول آب نمک صورت گرفته و سرعت انتقال جرم بسیار کوچک بوده است. همچنین دیده می‌شود که با افزایش غلظت آب نمک، سرعت کاهش غلظت آن و در نتیجه سرعت نفوذ نمک در سیب زمینی نیز بیشتر است. در کلیه آزمایش‌ها، بعد از زمان ۳۰۰ دقیقه تغییری در غلظت نمک محلول مشاهده نشد.

- محاسبه ضریب نفوذ موثر(D_s)

در جدول ۱ آخرین عدد هر ستون که حاکی از غلظت تعادلی است به عنوان Y_∞ در نظر گرفته می‌شود و در محاسبات تعیین ضریب نفوذ مورد استفاده قرار می‌گیرد. در کلیه محاسبات،Y نشان دهنده غلظت نمک در فاز مایع (محلول آب نمک) و X غلظت نمک در جامد (سیب زمینی) می باشد. غلظت تعادلی نمک در فاز جامد (X_∞)، با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$X_\infty = \frac{(Y_0 - Y_\infty)L}{P} \qquad (۴)$$

معادلات کرانک (Crank, 1975) برای اندازه‌گیری ضریب نفوذ نمک در سیب زمینی به شکل زیر هستند :

$$\frac{Y-Y_\infty}{Y_0-Y_\infty} = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2\alpha(1+\alpha)}{1+\alpha+\alpha^2 q_n^2} \exp\left(\frac{-q_n^2 D_s}{l^2} t\right) \qquad (۵)$$

$$\frac{N-N_\infty}{N_0-N_\infty} = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{-2(1+\alpha)}{1+\alpha+\alpha^2 q_n^2} \frac{\cos(q_n x/l)}{\cos(q_n)} \exp\left(\frac{-q_n^2 D_s}{l^2} t\right) \qquad (۶)$$

پارامتر α که تحت عنوان نسبت حجمی مؤثر شناخته می‌شود با استفاده از روابط زیر قابل محاسبه است:

جدول۱- تغییرات غلظت هر یک از محلول‌های آب نمک طی فرآیند نفوذ در سیب زمینی

زمان (دقیقه)	غلظت نمک در محلول برای سه دسته آزمایش(gr/cm^3)		
۰	۰/۰۱۰۰	۰/۰۲۰۰	۰/۰۳۰۰
۳۰	۰/۰۰۹۹	۰/۰۱۹۹	۰/۰۲۹۹
۶۰	۰/۰۰۹۷	۰/۰۱۹۷	۰/۰۲۹۶
۱۲۰	۰/۰۰۹۵	۰/۰۱۹۴	۰/۰۰۲۹۰
۱۸۰	۰/۰۰۹۲۵	۰/۰۱۹۰	۰/۰۲۸۲
۲۴۰	۰/۰۰۹۰۵	۰/۰۱۸۹	۰/۰۲۸۰
۳۰۰	۰/۰۰۹۰۵	۰/۰۱۸۸	۰/۰۲۷۷

www.SID.ir

Archive of SID

$$\alpha = \frac{mL}{F} \quad (۷)$$

$$m = \frac{Y_{\infty}}{X_{\infty}} \quad (۸)$$

m ضریب توزیع تعادلی نامیده می‌شود که بیانگر وضعیت غلظت‌های تعادلی نمک در دو فاز مایع و جامد می‌باشد. مقادیر حاصل از محاسبه X_∞ ، α و m در جدول ۲ ارائه شده اند. همان گونه که در این جدول دیده می‌شود با افزایش غلظت نمک در فاز مایع، غلظت نمک تعادلی افزایش یافته ولی نسبت حجمی مؤثر و ضریب توزیع تعادلی تابعیت مستقیمی با غلظت نمک در فاز مایع ندارند.

پارامتر q_n در روابط (۵) و (۶) ریشه مثبت غیر صفر معادله $\tan q_n = -\alpha q_n$ است که به کمک سری فوریه به‌دست می‌آید. شش جمله اول این سری به کمک نرم‌افزار C++ با روش تکرار به‌دست آمده و در روابط (۹) تا (۱۴) نشان داده شده است (Crank, 1975).

$$q_1 = 1.57141 + \left[0.8535\exp\left(\frac{-t}{0.3112}\right)\right] + \left[0.5484\exp\left(\frac{-t}{1.416}\right)\right] + \left[0.1656\exp\left(\frac{-t}{9.726}\right)\right] \quad (۹)$$

$$q_2 = 4.68453 + \left[0.9929\exp\left(\frac{-t}{0.1612}\right)\right] + \left[0.4868\exp\left(\frac{-t}{0.7189}\right)\right] + \left[0.1187\exp\left(\frac{-t}{3.062}\right)\right] \quad (۱۰)$$

$$q_3 = 17.2858 + \left[1.087\exp\left(\frac{-t}{0.5424}\right)\right] + \left[0.3886\exp\left(\frac{-t}{0.2389}\right)\right] + \left[0.08849\exp\left(\frac{-t}{1.478}\right)\right] \quad (۱۱)$$

$$q_4 = 7.86682 + \left[0.9542\exp\left(\frac{-t}{0.1014}\right)\right] + \left[0.4707\exp\left(\frac{-t}{0.3648}\right)\right] + \left[0.1331\exp\left(\frac{-t}{2.0028}\right)\right] \quad (۱۲)$$

$$q_5 = 11.0035 + \left[1.094\exp\left(\frac{-t}{0.08243}\right)\right] + \left[0.3908\exp\left(\frac{-t}{0.3882}\right)\right] + \left[0.07801\exp\left(\frac{-t}{2.746}\right)\right] \quad (۱۳)$$

$$q_6 = 14.14386 + \left[1.137\exp\left(\frac{-t}{0.06799}\right)\right] + \left[0.3579\exp\left(\frac{-t}{0.3342}\right)\right] + \left[0.06891\exp\left(\frac{-t}{2.212}\right)\right] \quad (۱۴)$$

جدول ۳ بیانگر مقادیر محاسبه شده q_n در غلظت‌های ۱ تا ۳ درصد آب نمک است.

به ازای هریک از مقادیر Y از ترسیم عبارت $\log_{10}\frac{Y-Y_\infty}{Y_0-Y_\infty}$ بر حسب زمان، خط راستی با شیب $-\frac{q_n^2 D_s}{2.303\, l^2}$ حاصل می‌شود. عدد ۲/۳۰۳ در مخرج این کسر، ضریب تبدیل ln به log است. سپس با استفاده از مقادیر معلوم، مقدار D_s محاسبه می‌شود. به این ترتیب به ازای هریک از مقادیر q_n ناشی از معادلات ۹ تا ۱۴

جدول ۲- مقادیر X_∞ ،ضریب توزیع تعادل (m) و نسبت حجمی موثر(α) در غلظت‌های ۱تا ۳ درصد آب نمک

غلظت نمک در آب (w/v٪)	X_∞	α	m
۱	۰/۰۰۷۶	۴/۲۸	۱/۰۶
۲	۰/۰۰۹۷	۱۵/۶۰	۱/۹۳
۳	۰/۰۱۸۵	۱۲/۰۴	۱/۴۹

جدول ۳- مقادیر qn به ازای غلظت‌های ۱ تا ۳ درصد (w/v) آب نمک

غلظت (w/v)٪	q_1	q_2	q_3	q_4	q_5	q_6
۱	۱/۷۰	۴/۷۶	۷/۹۲	۱۱/۰۱	۱۴/۱۵	۱۷/۲۹
۲	۱/۶۰	۴/۷۱	۷/۸۶	۱۱/۰۱	۱۴/۱۴	۱۷/۲۸
۳	۱/۶۱	۴/۷۲	۷/۸۶	۱۱/۰۰	۱۴/۱۴	۱۷/۲۸

جدول ٤- مقادیر شیب خط حاصل از ترسیم $\log_{10}\left\{\left(\frac{Y-Y_\infty}{Y_0-Y_\infty}\right)\right\}$ بر حسب زمان و ضرایب نفوذ محاسبه شده

غلظت (درصدw/v)	$-\frac{q_n^2 D_s}{2.303 l^2}$	$D_s\ (m^2/s)\times ۱۰^{۹}$
۱	-۷×۱۰^{-۵}	۳/۴۵
۲	-۸×۱۰^{-۵}	۴/۳۹
۳	-۸×۱۰^{-۵}	۴/۳۳

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۵- ضریب نفوذ نمک در سیب زمینی (Stahl و Loncin)

غلظت (درصدw/v)	D_s (m^2/s)×۱۰^{۹}
۱	۳/۶۰
۲	۴/۱۰
۳	۴/۴۰

یک مقدار برای D_s به‌دست می‌آید که با متوسط گیری از آن‌ها مقدار ضریب نفوذ متوسط نهایی D_s تعیین می‌گردد (Bahadur et al., 2007).

$$D_s = \frac{\sum_{1}^{N} Ds_i}{N} \qquad (۱۵)$$

جدول ۴ مقادیر $-\frac{q_n^2 D_s}{2.303 l^2}$ و D_s را نشان می‌دهد.

در جدول ۵ مقادیر ضریب نفوذ به دست آمده توسط Stahl و Loncin (۱۹۷۹) ارائه شده است که با مقادیر به‌دست آمده در پژوهش کنونی بسیار نزدیک است. این موضوع نشان می‌دهد تغییر شرایط رشد سیب زمینی تأثیر چندانی بر ضریب نفوذ نمک در آن ندارد.

بحث

در ابتدای تماس محلول آب نمک و سیب زمینی، در حدود ۳۰ دقیقه زمان لازم است تا یون‌های نمک به سطح سیب زمینی مهاجرت نموده و پدیده نفوذ نمک در سیب زمینی آغاز شود به همین دلیل سرعت نفوذ مشاهده شده در ۳۰ دقیقه اول بسیار کوچک است.

بررسی تاثیر دما بر ضریب نفوذ نمک در سیب زمینی به دلیل اثر دما در آسیب دیدن و نرم شدن بافت سیب زمینی به محدودیت‌های زیادی مواجه است.

باقی ماندن بیش از حد سیب زمینی در آب نمک باعث نرم شدن بافت سلولی سیب زمینی می شود. این موضوع صرفنظر از غلظت محلولی که سیب زمینی در آن قرار دارد می‌تواند منجر به افزایش غیر قابل پیش بینی ضریب نفوذ نمک در سیب زمینی گردد.

نتیجه‌گیری

مقایسه نتایج این تحقیق با کارهای مشابه قبلی نشان می‌دهد که ضریب نفوذ نمک در سیب زمینی چندان تابع شرایط رشد آن نیست.

ضریب نفوذ نمک در بافت سیب زمینی در دمای ۲۴°C در محدوده $۳/۴۵\times۱۰^{-۹}$ تا $۴/۳۹\times۱۰^{-۹}$ (m^2/s) قرار دارد.

منابع

بهمنیار، ح. (۱۳۸۲). انتقال جرم، انتشارات جهاد دانشگاهی، دانشکده فنی تهران، فصل های ۲ ، ۳ و ۴

Rodriguez, A. E. & Mauro, M. A. (2008). Journal of Food Process Engineering. 31, 207-228.

Baroni, A. F. & Huminge, M. D. (2003). Kinetic of dehydration of onion by Immersion. Brazilian Journal of Food Technology, 81-86.

Bahadur, S., Parmjit, S. P. & Vikas, N. (2007). Osmotic Dehydration Kinetics of Carrot Cubes in Sodium Chloride Solution, Journal of Food Science and Technology, 18, 34-39.

Barnard, J. & Quintero-Ramos, A. (2003). Estimation of Diffusivity using S-plus. New York State Agricultural Experiment Station Geneva, New York .

Conway, J., Castaigne, F., Picard, G. & Vovan, X. (2005). Mass Transfer Considerations in the Osmotic Dehydration of Apple. Canadian Institute of Food Science Technology, 16 (1), 25-29.

Crank, J. (1975). The Mathematics of Diffusion. Oxford University Press Inc., New York, Chap. 4.

Sarang, S. & Sastry, S. K. (2007). Effect of Salt Concentration and Temperature. Journal of Food Engineering, 82, 377-382.

Schwartzberg, H. G. & Chao, R. Y. (1982). Solute Diffusivities in Leaching Process. Food Technology, 336, 73-86.

Stahl, R. & Loncin, M. (1979). Prediction of Diffusion in Solid Foodstuffs. Food Process Preservation, 3, 213-223.

Wang, W. & Sastry, S. K. (1993), Salt

www.SID.ir

Archive of SID

Fsina ,W., Eleming, H. & Thompson, R., (2002). Mass transfer and Solute Diffusion in Brined Cucumbers. Food engineering and physical properties, 67, 181-19.

Diffusion into Vegetable Tissue as a Pretreatment for Ohmic Heating: Determination of Parameters and Mathematical Model. Journal of Food Engineering, 20, 311-323 .

Wood, F. W. (1966). The Diffusion of Salt in Pork Muscle and Fat Tissue. Journal of the Science of Food and Agriculture. 17, 138-140.

www.SID.ir

Archive of SID

Determination of Salt Diffusivity into the Potato Tissues

B. Mosayebi Dehkordi [a*], F. Hashemi [b]

[a] Assistant Professor of the Department of Chemical Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

[b] M. Sc. of Food Engineering, Chemical Engineering Department, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

Received: 14 September 2009 Accepted: 9 March 2010

Abstract

Introduction: Theoretical calculations of diffusivity into the solids are subjected to a lot of limitations. Consequently in most researches related to the molecular diffusion into the solids and foods, the effective diffusivities are measured by laboratory methods. In this research the effective diffusivity of salt into the potato tissues was measured experimentally applying analytical solution of Fick's equations in mass transfer.

Materials and Methods: The cylindrical samples of potato with 3 cm diameter and 3.5 cm height were immersed into the brine. The surrounding surfaces of the samples were covered by a suitable sealant in order to consider one dimensional mass transfer. Variations in brine concentration and consequently the rate of salt diffusion into the potatoes were calculated by measuring the electrical conductivity of brine.

Results: The diffusivity of salt into the potato tissues is increased by increase in brine concentrations, but it won't be remarkable increase at high brine concentrations. The salt concentration in potato tissues reaches to equilibrium in 300 min and then no more diffusion will be occurred. Using the results of experiments and analytical solution of Fick's law equations the diffusivity of salt into the potato tissues at 24 °C were measured to be (3.45-4.39) $10^{-9}\times m^2/s$ for 1-3% (w/v) brine solutions.

Conclusion: According to the results of this research, Fick's law equations in mass transfer and their analytical solutions represented by Crank give a precise explanation of mass transfer in solids. Furthermore, the diffusivity of salt in the potato is independent of the variety of potato and consequently different researches have concluded similar results.

Keywords: *Brine, Crank Equation, Diffusivity, Potato.*

www.SID.ir

*Corresponding Author: bmosayebi@gmail.com