بررسی تاثیر سرعت بارگذاری بر برخی خصوصیات مکانیکی بافت و هسته دو رقم متداول میوه زیتون

ثمانه لواسانی[۱]، اکرم غفاری[۲]

۱- کارشناس ارشد مهندسی مکانیک ماشینهای کشاورزی، مدرس دانشگاه غیرانتفاعی آفاق ارومیه و عضو باشگاه پژوهشگران جوان دانشگاه آزاداسلامی واحد ارومیه

۲- کارشناس ارشد مهندسی مکانیزاسیون کشاورزی، دانشگاه فروسی مشهد

Sa_lavasani@yahoo.com

چکیده

یکی از مشخصات مهم محصولات کشاورزی حساسیت در مقابل آسیب و خسارت است که به مقاومت و خواص بیولوژیکی آن‌ها بستگی دارد. مشخصه های فیزیکی و مکانیکی محصولات کشاورزی از مهم‌ترین پارامترها در طراحی سیستم‌های درجه‌بندی، جابه‌جایی، فراوری، بسته‌بندی و..... می‌باشند. در این تحقیق برای تعیین خصوصیات مکانیکی بافت و هسته زیتون (نیرو و انرژی بیشینه، تغییرشکل بیشینه، چغرمگی و میزان سفتی)، از دستگاه آزمون مواد (کشش-فشارSMT5) بر روی دو رقم متداول میوه زیتون(ماری و روغنی) در سه سطح سرعت بارگذاری (۲۵، ۵۰ و ۷۵ میلیمتر بر دقیقه)استفاده شد. نتایج آزمون فشاری و استخراج خواص مقاومتی نشان داد که نوع رقم، اثرمعنی‌داری در نیرو و انرژی بیشینه بافت و هسته زیتون در سطح احتمال ۱٪ و در چغرمگی در سطح احتمال ۵٪ دارد. اثر سرعت بارگذاری بر نیروی بیشینه در سطح احتمال ۱٪ و در انرژی بیشینه در سطح احتمال ۵٪ بر بافت و هسته‌ی میوه زیتون معنی‌دار شد که این رفتار نشان دهنده‌ی سختی میوه‌های زیتون در سرعتهای بالاتر است. نتایج مقایسه میانگین نشان داد که با افزایش سرعت بارگذاری میزان نیرو و انرژی بیشینه افزایش می‌یابد. بیشترین مقدار انرژی بیشینه برای بافت و هسته‌ی رقم روغنی و به ترتیب(۹۸/۹۴ و ۴۰۵/۸۵۷ میلی‌ژول) به‌دست آمد. بیشترین چغرمگی هسته زیتون در سرعت بارگذاری ۷۵ میلیمتر بر دقیقه با مقدار ۰/۲۲۸ میلی‌ژول بر میلیمترمکعب به‌دست آمد. رابطه‌ی رگرسیونی بین سرعت بارگذاری و انرژی بیشینه با ضریب تبیین بالا (R^2=0/98 , E_{max}= -6/403v^2+ 39/648 v+18/894) نشان داد که با استفاده از سرعت بارگذاری می‌توان میزان انرژی مصرفی برای بافت میوه زیتون را پیش بینی کرد.

کلمات کلیدی: آزمون فشاری شبه استاتیک، خصوصیات مکانیکی، سرعت بارگذاری، میوه زیتون

مقدمه

زیتون متعلق به تیره الئاسه، جنس الئا و گونه اروپئا می‌باشد که در اوایل بهار شروع به گل دادن می‌کند. دراواخر تابستان میوه سبز رنگ آن به ثمر می‌رسد و در اواخر پاییز یا موقع برداشت میوه، رنگ آن به کلی تیره است[درویشیان،۱۳۷۵]. سطح باغات زیتون در کشور حدود ۹۵۰۰۰ هکتار می‌باشد که در استان‌های زنجان (۱۰۰۰۰ هکتار)،گیلان(۵۴۰۰ هکتار)، قزوین(۳۲۵۰ هکتار)و بقیه به صورت باغات جدیدالاحداث در راستای طرح ملی زیتون در سطح کشور پراکنده است[موسسه استاندارد ایران، شماره۶۴۱۴].

با توجه به تولید روز افزون زیتون و درامد ارزی که از تجارت روغن آن حاصل می‌شود ضروری است برای مکانیزه کردن عملیات کاشت، برداشت و فرآوری آن پژوهشهای گسترده ای در کشور انجام شود. برای ارتقا فناوری

و بهینه سازی ماشینهای پس از برداشت لازم است در ابتدا خواص فیزیکی و مکانیکی محصولات مورد ارزیابی و بررسی قرار گیرد. اطلاعات مرتبط به خواص فیزیکی و مکانیکی زیتون بسیار اندک می‌باشد. با این همه به برخی از مطالعات انجام شده در این زمینه اشاره می‌شود.

[حزباوی و همکاران،۱۳۸۷] در تحقیقی به بررسی برخی خواص مهندسی میوه و هسته زیتون پرداختند. [Agar *et al.*, 1999] زیتون های رسیدهٔ ارقام آسکولانو، مانزانیلو، میژن و سوینالو را به منظور ارزیابی فیزیولوژی پس از برداشت، در دو حالت انباری؛ ۵ درجه سانتیگراد به مدت ۸-۶ هفته در انبار سرد و در ۲۰ درجه سانتیگراد به مدت ۲ هفته در شرایط معمولی نگهداری کردند. [Georget *et al.*, 2001] نشان دادند که در آزمون کشش، پوست میوه زیتون مقاوم‌تر از گوشت میوه بوده و تغییرشکل پذیری آن نسبت به گوشت به مراتب کمتر بوده و هم زمان با رسیدن میوه، استحکام پوست و گوشت میوه رقم هوجی بلانکا کاهش یافته در حالی‌که در رقم دورا استحکام پوست افزایش و استحکام گوشت میوه کاهش نشان داد. [Nanos *et al.*, 2002] شرایط انبارداری پیش از فراوری زیتون‌های رومیزی ارقام کانسرولیا و چوندرولیا را بررسی کردند. [Ghamari *et al.*, 2003] تحقیقاتی در زمینه تعیین مشخصات فیزیکی دو رقم زیتون به نام زیتون زرد و روغنی انجام دادند. [Saglam *et al.*, 2005] در تحقیقی به تعیین برخی خصوصیات فیزیکی و اصطکاکی دو رقم میوه زیتون (آیوالیک و ممجیک) پرداختند. [Akbarnia *et al.*, 2007] با مطالعهٔ چهار رقم رایج زیتون در ایران، مقاومت شکست، مقاومت خردشدن نهایی و مقاومت له شدن هستهٔ دانه زیتون را بر اساس دو فاکتور نوع رقم و درجهٔ رسیدگی اندازه‌گیری کردند.

[Kilickan *et al.*, 2008] در تحقیقی به تعیین خواص فیزیکی و مکانیکی میوه زیتون در رقم گملیک تحت بار فشاری پرداختند و گزارش نمودند که نیروی شکست، انرژی شکست و درصد تغییر شکل برای هسته و میوه زیتون با افزایش اندازه و نسبت تغییر شکل افزایش یافته و بیشترین نیروی شکست و درصد تغییر شکل در طول محور طولی گزارش شد. [Desoukey *et al.*, 2010] در پژوهشی به بررسی تغییرات خصوصیات فیزیکی و شیمیایی رقم روغنی میوه زیتون در طی رسیدگی میوه پرداختند.

از آنجا که عوامل مختلفی از قبیل عوامل بیولوژیکی، عوامل زیست محیطی، شرایط و روش کاشت، داشت، برداشت و نوع انبارداری بر خواص مختلف محصول تولیدی تاثیر می‌گذارند لذا تعیین این خواص جهت کاربرد در طراحی ماشین آلات مخصوص فرآیندهای پس از برداشت از قبیل درجه بندی، جداسازی، بسته بندی حمل و نقل، صادرات، فرآوری در کارخانجات و ..... مفید می باشد. این تحقیق از آن جهت ضرورت دارد که تاکنون پژوهش جامعی در این زمینه، به ویژه در داخل کشور انجام نگرفته است. بر این اساس هدف از تحقیق حاضر عبارت است :

۱- بررسی تاثیر سرعت بارگذاری و نوع رقم بر برخی خصوصیات مکانیکی بافت و هسته میوه زیتون از قبیل(نیرو و انرژی بیشینه، تغییرشکل بیشینه، چغرمگی و میزان سفتی).
۲- تعیین بیشترین و کمترین مقادیر پارامترهای مکانیکی اندازه گیری در بین ارقام.

مواد و روشها

نمونه‌های مورد استفاده در این تحقیق(ارقام ماری، روغنی محلی)از ایستگاه تحقیقاتی زیتون تهیه و پس از برداشت، بلافاصله به آزمایشگاه خواص فیزیکی و مکانیکی محصولات کشاورزی منتقل شد. قبل از انجام آزمون فشاری، خواص فیزیکی شامل حجم،جرم،رطوبت و قطرتمام نمونه‌ها اندازه‌گیری شد. با استفاده از کولیس دیجیتالی

با دقت ۰/۰۲ میلی‌متر، ابعاد زیتون‌ها اندازه گیری شدند. با استفاده از سه قطر اصلی، ضریب کرویت(معیاری برای توصیف شکل میوه) و قطر میانگین هندسی آنها با روابط زیر به دست آمد.

$$\Phi = \frac{\sqrt[3]{abc}}{a} \quad و \quad D_g = \sqrt[3]{abc} \qquad (۱)$$

که در آنها: Φ؛ ضریب کرویت و D_g؛ قطر میانگین هندسی می‌باشد.

جرم نمونه‌ها با ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۰۱ گرم اندازه‌گیری شد. چگالی هر دانه از زیتون از رابطهٔ ذیل بدست می‌آید[Mohsenin *et al.*, 1986].

$$\rho_f = \frac{M_a}{M_a - M_w} \times \rho_w \qquad (۲)$$

که در آن: ρ_f؛ چگالی هر دانه زیتون(g/cm^3)، M_a؛ جرم محصول در هوای آزاد(gr)، M_w؛ جرم محصول در آب(gr) و ρ_w؛ چگالی آب در محیط آزمایشگاه (g/cm^3)است که برابر ۱ گرم بر سانتی متر مکعب در نظر گرفته شد.

به منظور تعیین رطوبت اولیه میوه‌های زیتون، تعداد ۱۰ عدد از هر رقم میوه و از هریک قطعه‌ای به ضخامت معین جدا گردید و در اجاق آزمایشگاهی(memmert 500)، در دمای ۱۰۵ درجه سیلسیوس به مدت ۲۴ ساعت قرار داده شد و در انتها درصد رطوبت نمونه ها بر پایه تر با رابطهٔ ذیل محاسبه گردید[Liebanes et *al.*, 2006]

$$M_w = \frac{W_w}{(W_w + W_d)} \times 100 \qquad (۳)$$

که در آن: M_w؛ میزان رطوبت بر پایه تر بر حسب درصد، W_w؛ وزن آب موجود در ماده به گرم و W_d؛ وزن ماده خشک موجود در ماده به گرم می‌باشد.

برای تعیین خواص مکانیکی میوه از دستگاه آزمون مواد(SMT-5)ساخت شرکت سنتام و از لودسل ۵۰۰ کیلوگرم نیرو طی آزمونهای فشاری تک محوری بر روی دو رقم، در سه سطح سرعت روی نمونه کامل زیتون در پنج تکرار انجام گرفت. در تمام آزمایشات عامل بارگذاری(صفحه‌ای تخت) با سه سرعت (۲۵، ۵۰ و ۷۵ میلی‌متر در دقیقه)به سمت پایین حرکت و در این حالت زیتون کامل تحت یک بار پیوسته که متناسب با مقاومت بافت زیتون افزایش می‌یافت، قرار می‌گرفت. نمونه‌های زیتون در پایدارترین حالت به نحوی روی فک ثابت قرار داده میشد که قطر بزرگ عمود بر جهت بارگذاری قرارگیرد. نیروی بیشینه بر حسب نیوتن بطور عینی از بالاترین نقطه منحنی نیرو-تغییرشکل برای بافت و هسته میوه زیتون بدست آمد. همچنین تغییرشکل بیشینه که در اغلب موارد منطبق بر تغییرشکل نیروی بیشینه بود بر حسب میلی‌متر به دست آمد. برای محاسبه انرژی با برازش معادله چندجمله‌ای درجه سه با منحنی نیرو-تغییرشکل و سپس انتگرال‌گیری از معادله مربوطه تا نقطه نیروی بیشینه بافت استفاده شد. به همین ترتیب، چغرمگی از نسبت انرژی بر حجم نمونه‌های مورد آزمایش بدست آمد. میزان سفتی بر حسب نیوتن بر میلی‌متر از تقسیم نیروی بیشینه بر تغییرشکل بیشینه محاسبه گردید.

نتایج و بحث

برای تحلیل نتایج حاصل از آزمون فشاری از آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح کاملا تصادفی استفاده گردید. تجزیه تحلیل داده‌ها به کمک نرم افزار *SPSS.14* انجام شد. نتایج نشان‌داد که رقم ماری نسبت به رقم روغنی

محلی دارای رطوبت بیشتری در زمان برداشت و دارای حجم کمتری می‌باشد(جدول۱). این نتیجه بر روی خصوصیات مکانیکی حاصل از آزمون فشاری بر روی پارامترهای اندازه گیری شده می‌تواند تاثیرگذار باشد.

جدول۱- میانگین و انحراف معیار خواص فیزیکی دو رقم زیتون

نوع رقم	قطر میانگین هندسی(mm)	ضریب کرویت	حجم(cm^3)	چگالی (gr/cm^3)	رطوبت(٪)
ماری	۱۴/۱۳۲±۱/۷۰۵	۰/۷۹۵±۰/۰۵۱	۱/۵۵۲±۰/۰۶۸	۱/۱۷۲±۰/۱۱۴	۷۲/۹۵ ±۱/۲۹
روغنی	۱۶/۲۱۷±۲/۲۹۵	۰/۷۹۷±۰/۰۲۸	۲/۳۸۱±۰/۹۶۱	۱/۱۱۹±۰/۰۴۵	۶۸/۲۳ ± ۲/۱۲

نتایج حاصل از تجزیه واریانس اثر فاکتورهای نوع رقم و سرعت بارگذاری بر نیرو و انرژی بیشینه، چغرمگی و تغییرشکل بیشینه نشان داد که نوع رقم در سطح احتمال ۱٪ بر نیرو و انرژی بیشینه معنی‌دار بود. همچنین نتایج نشان داد که اثر سرعت بارگذاری بر نیروی بیشینه در سطح احتمال ۱٪ و بر انرژی بیشینه در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار اما بر تغییرشکل بیشینه و چغرمگی معنی‌دار نشد(جدول۲).

جدول۲-نتایج حاصل از تجزیه واریانس خواص مکانیکی بافت میوه زیتون بر اساس میانگین مربعات(MS)

شاخص‌ها	درجه آزادی	نیروی بیشینه (نیوتن)	انرژی بیشینه (میلی ژول)	چغرمگی (میلی ژول بر میلی متر مکعب)	تغییرشکل بیشینه (میلی‌متر)
رقم	۱	۵۱۸۰/۸ **	۲۱۴۲۲/۱ **	۳/۷۵۳ **	۰/۰۰۱۴۱ *
سرعت بارگذاری	۲	۴۴۶/۸ **	۱۶۷۰/۶ *	۰/۲۲۱۱ ns	۰/۰۰۰۰۵۱ ns
رقم× سرعت	۲	۱۱۵/۳ ns	۹۳۸/۱ ns	۱/۶۶۱۸ *	۰/۰۰۰۵۹ ns
خطا	۱۲	۳۲/۸	۳۳۶/۷	۰/۰۰۰۲۴۵۴	۰/۰۰۰۱۶
ضریب تغییرات	-	۱۵/۸۵	۱۷/۳۶	۱۹/۲۰	۱۸/۷۸۵۵۷

* در سطح ۵٪ معنی دار است ** در سطح۱٪ معنی دار است ns معنی دار نیست

اثر متقابل رقم در سرعت فقط بر تغییرشکل بیشینه در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار و برای سایر پارامترها معنی‌دار نشد. کمترین ضریب تغییرات برای نیروی بیشینه(۱۵/۸۵) به دست آمد. نتایج مقایسه میانگین با آزمون *(L.S.D)* تفاوت معنی‌داری را در سطح آماری ۵٪ بین ارقام در پارامترهای مکانیکی بدست آمده از آزمون فشاری نشان داد. رقم روغنی در کلیه پارامترهای به دست آمده نسبت به رقم ماری میانگین بیشتری را به خود اختصاص داد. اثر سرعت بارگذاری بر نیرو و انرژی بیشینه در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار شد و با افزایش سرعت بارگذاری مقادیر میانگین این دو پارامتر افزایش یافت(جدول۳و۴). این رفتار نشان‌دهنده سختی میوه‌های زیتون در سرعتهای بالاتر است. این نتیجه با نتایج کلیچیکان و گونر در رقم گملیک زیتون که قبلاً به آن اشاره شده است، مطابقت دارد. همچنین با توجه به وابستگی انرژی بیشینه به نیرو و جابه‌جایی نقطه بیشینه و به علت افزایش نیروی بیشینه در سرعتهای بالا و به خاطر نبود تفاوتهای قابل توجه بین تغییرشکلهای بیشینه در سرعتهای مختلف بارگذاری این روند قابل توجیه می‌باشد. بیشترین مقدار انرژی در سرعت ۷۵ میلی‌متر بر دقیقه به دست آمد.

جدول۳- نتایج مقایسه میانگین‌های عوامل آزمایشی خواص مکانیکی بافت حاصل از آزمون (L.S.D)

عوامل آزمایشی		نیروی بیشینه (نیوتن)	تغییرشکل بیشینه (میلی‌متر)	انرژی بیشینه (میلی‌ژول)	چغرمگی (میلی‌ژول بر میلی‌متر مکعب)	سفتی (نیوتن بر میلیمتر)
رقم	ماری	۱۵/۳۸۹ b	۳/۱۶۸ b	۲۵/۷۶۵ b	۰/۰۲۱۹ b	۴/۸۵۶b
	روغنی	۵۱/۳۷۸ a	۴/۱۳۶ a	۹۸/۹۴ a	۰/۰۴۰۷ a	۱۲/۴۲۲a
سرعت بارگذاری (میلیمتر بر دقیقه)	۲۵	۲۸/۰۹۹ c	۳/۵۳۴ a	۵۲/۱۳۸ c	۰/۰۳۳ a	۷/۹۵۱b
	۵۰	۳۸/۶۶۸ b	۳/۷۶۹ a	۷۲/۵۷۵ b	۰/۰۲۹ a	۱۰/۲۵۹a
	۷۵	۴۱/۴۷۳ a	۳/۹۰۲ a	۸۰/۲۰۵ a	۰/۰۲۸۳ a	۱۰/۶۲۸a

مقادیر میانگین دارای حروف مشترک، برای هر ویژگی مکانیکی اختلاف معنی داری با یکدیگر ندارند.

جدول۴- نتایج مقایسه میانگین‌های عوامل آزمایشی خواص مکانیکی هسته

عوامل آزمایشی		نیروی بیشینه (نیوتن)	انرژی بیشینه (میلی‌ژول)	چغرمگی (میلی‌ژول بر میلی‌متر مکعب)
رقم	ماری	۲۳۰/۶۶۲ b	۱۴۰/۳۳۶ b	۰/۱۱۲ b
	روغنی	۳۹۷/۵۹۰ a	۴۰۵/۸۵۷ a	۰/۲۴۱ a
سرعت بارگذاری (میلیمتر بر دقیقه)	۲۵	۳۰۶/۷۱۴ c	۲۲۴/۵۲۶ c	۰/۱۲۸ a
	۵۰	۳۴۳/۱۴۵ b	۲۳۲/۷۹۰ b	۰/۱۵۱ a
	۷۵	۳۶۰/۸۹۷ a	۳۲۵/۲۱۷ a	۰/۲۲۸ a

مناسب‌ترین رابطه رگرسیونی بین سرعت بارگذاری و نیرو و انرژی بیشینه بافت با ضریب تبیین بالا در روابط زیر آمده است:

$$F_{\max} = -3.882v^2 + 22.216v + 9.765$$

$$E_{\max} = -6.4035v^2 + 39.648v + 18.894$$

در هر دو رابطه مقدار $R^2 = 1$ می‌باشد. با توجه به روابط بالا، می‌توان با استفاده از سرعت بارگذاری، میزان انرژی مصرفی را پیش بینی کرد. این موضوع در فرایند روغن‌کشی زیتون از اهمیت خاصی برخوردار می‌باشد.

نتیجه گیری

بررسی نتایج آزمون فشاری و پارامترهای استخراج شده از منحنی نیرو- تغییرشکل نشان داد که رقم روغنی محلی نسبت به رقم ماری دارای مقاومت مکانیکی بالاتری بوده و این خصوصیت علاوه بر اطلاعاتی که برای تفکیک و طبقه بندی ارقام می‌دهد، وجود تفاوتها در طبیعت مکانیکی میوه‌های زیتون را نشان داده و ضرورت تحقیقات بیشتر را آشکار می‌کند. با افزایش سرعت بارگذاری میزان نیرو و انرژی بیشینه بافت و هسته زیتون افزایش یافت. از این موضوع و روابط رگرسیونی ارائه شده می‌توان با استفاده از سرعت بارگذاری با دقت بالایی میزان انرژی مصرفی را پیش بینی نمود که در فرایند روغن‌کشی زیتون از اهمیت خاصی برخوردار می‌باشد.

منابع

۱. بی‌نام، ۱۳۸۶. آشنایی با زیتون و اصول برداشت و پس از برداشت آن. موسسه استاندارد ایران. شماره ۶۴۱۴.
۲. توکلی هشتجین ت، ۱۳۸۳. مکانیک محصولات کشاورزی(تالیف سیتکی، ج). انتشارات دانشگاه تربیت مدرس، ۵۳۰ص.

۳. حزباوی، ع.، ف. ، فتاحی، ش. کاظمی، ز. اشرف و س، مینایی، ۱۳۸۷، هیجدمین کنگره ملی علوم و صنایع غذایی، پژوهشکده علوم و صنایع غذایی خراسان.
۴. درویشیان م، ۱۳۷۵. زیتون(ترجمه). انتشارات مرکز آموزش کشاورزی کرج. ۲۸۴ ص.

1. Agar, T., Hess-Pierce, B., Kader, A.1999. Identification of Optimum Preprocessing Storage Conditions to Maintain Quality of Black Ripe Manzanillo Olives. Postharvest Biology and Technology. 15:53-64.

2. Akbarnia, E. 2007. Determination and comparison Resistance Pressure Four Olive Varieties Common in Iran. Tehran University. Department of Mechanic's of Agricultural Machinery. (in Farsi).

3. ASAE Standards. 1999. Compression Test of Food Materials of Convex Shape.American Society ofAgricultural Engineers. S 368.3.

4. Desouky, I.M., F.Laila Hggag., M.M.M. Abd EL-Migeed., ES. EL-Hady, 2010. Changes in Some Physical and Chemical Fruit Properties During Fruit Development Stage of Some Olive Oil Cultivars. American-Eurosian. Agric & Environ Sci, 7(1):12-17

5. Georget, D., Smith, M.R., Waldron, A.C. 2001. Effect of Ripening on the Mechanical Properties of Portuguest and Spanish Varieties of Olive. Journalof the Science of Food and Agriculture. Vol.81.pp 448-454.

6. Ghamari, B., Rajabipour, A., Borgheari, A.M., Sadeghi, H. 2003. Some Physical Properties of Olive. CSAE/SCGR, paper No.03-323.

7. Kilickan, A., Guner, M. 2008. Physical Properties and Mechanical Behavior of Olive Fruit's Under Compression Loading. Journal of food Engineering, 87: 222-228.

8. Liebanes, M.D., Aragon, J.M.2006. Equilibrium Moisture Isotherms of Two-Phase Olive Oil by-Products: Adsorption Process Thermodynamics. Journal of Food Engineering,30: 298-306.

9. Mohsenin, N.N. 1986. Physical Properties of Plant and Animal Materials. NewYork: Gordanand Beach Science.

11. Nanos, G.D. Kiritsakis, A.K., Sfakiotakis, E.M. 2002. Preprocessing Storage Conditions for Green Conservolea and Chondrlia table Olives. Postharvest Biology and Technology. 25:109-115.

12. Saglam, C., T. Aktas, 2005. Determination of Some Physical Properties and Static Friction Coefficient of Olive. Journal of agronomy; Vol. 4: 308-310.

13. Stroshin, R. 1998. Physical Properties of Agriculture Materials and Food Products. Department of Agricultural and Biological Engineering Purdue UniversityWest Lafayette, Indiana. pp.287.