بررسی برخی خواص فیزیکی گوجه ریز کرمانشاهی

محمد حسین احمدی[1]،مرتضی قاری[2] ،علی نجات لرستانی[3]

1- دانشجوی کارشناسی ارشد مکانیک ماشین های کشاورزی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی

2- دانشجوی کارشناسی ارشد مکانیک ماشین های کشاورزی دانشگاه ایلام

3- استادیار گروه مکانیک ماشین های کشاورزی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی

mmhahmadi@gmail.com

چکیده

گوجه فرنگی یکی از محصولات مهم در مجموعه گیاهان غذایی و دارویی می باشد . تعیین ویژگی های فیزیکی آن برای طراحی ماشین های مختلفی که در برداشت و فرآیند های پس از برداشت این محصول دست دارند از اهمیت زیادی برخوردار است . در این تحقیق 100 عدد گوجه ریز کرمانشاهی برای تعیین ویژگی های فیزیکی مورد بررسی قرار گرفتند . نتایج تحقیق نشان داد میانگین ابعاد گوجه یعنی طول (*Length*)، عرض (*width*)، ضخامت (*thickness*) به ترتیب برابر 22.57 میلی متر، 21.86 میلی متر و 20.20 میلی متر بودند . میانگین مساحت سطح (*Surface area*)، میانگین هندسی قطرها (*Geometrical mean diameter*)، میانگین حسابی قطرها (*Arithmetic mean diameter*)، مساحت سطح رویه (*Criteria projected area*)، کرویت (*Sphericity*) و نسبت تص ویر (*Aspect ratio*) به ترتیب برابر 1466.02 میلی متر مربع، 21.51 میلی متر،21.54 میلی متر، 897.57 میلی متر مربع، 95.37% و 96.88% بودند. چگالی حقیقی (*True density*)، چگالی حجمی (*Bulk density*) و تخلخل (*Porosity*) به ترتیب برابر 1.04 گرم بر سانتی م تر مکعب، 0.53 گرم بر سانتی متر مکعب و 48.35% بودند.

کلمات کلیدی: ابعاد، تخلخل، چگالی، خواص فیزیکی، گوجه ریز کرمانشاهی

مقدمه

طبق بیان انجمن بین المللی سرطان، شواهد و مدارک زیادی وجود دارد که اثبات می کند کسانی که مقدار زیادی گوجه و محصولات حاوی گوجه مصرف می کنند به مقدار زیادی ریسک سرطان پروستات، سرطان ریه و سرطان معده را در خود کاهش داده اند. همچنین شواهدی مبتنی بر اینکه در کسانیکه مقدار زیادی گوجه مصرف می کنند ریسک سرطان های لوزالمعده، راست روده، مری، دهان، سینه و گردن بسیار کاهش یافته است وجود دارد. گوجه به روش های مختلف همچون جزئی از غذا، سس گوجه فرنگی، سوپ، کنسرو و ... مصرف می گردد. گوجه های نرسیده و کال نیز می توانند سرخ شوند و برای تهیه ی سس یا ترشی مورد استفاده قرار گیرند. علاوه بر اثر آنتی اکسیدان گوجه می توان به اثر لیکوپن آن اشاره نمود . غنی ترین منبع لیکوپن برای رژیم غذایی می توان به مصرف گوجه و مشتقات آن اشاره نمود.

یکی از مشکلات مهم دخیل در برداشت گوجه آسیب مکانیکی به آن است [Haciseferogullari *et al.*, 2007; Tanigaki *et al.*, 2008]. برای کاهش آسیب های مکانیکی ،تحقیقات بر روی خواص فیزیکی و

مکانیکی گوجه ریز کرمانشاهی در جهت تجهیز کردن ماشین های برداشت انجام شده است . تحقیقات گذشته بر روی گوجه فرنگی را می توان به سه دسته ی کلی طبقه بندی کرد . دسته ی اول بررسی خواص فیزیکی و مکانیکی گوجه فرنگی کامل می باشد [Viswanathan *et al*., 1997; Jahns, G *et al*., 2011; Arora, S *et al*., 2005; Varshney, A.K *et al*., 2007]. دسته ی دوم بررسی خواص میکرو مکانیکی اجزای مختلف گوجه فرنگی، همچون سلول های تکی، برون بر و میان بر گوجه فرنگی است [Blewett, J *et al*., 2000; Allende, A *et al*., 2004; Wang, C.X *et al*., 2004; Wang, C.X *et al*., 2006; Matas, A.J *et al*., 2004; Gloria, L.C *et al*., 2007; Arazuri, S *et al*., 2007]. دسته ی سوم بررسی ارتباط بین خواص فیزیکی ومکانیکی و آسیب بر محصول گوجه فرنگی می باشد [Desmet, M *et al*., 2002; Devaux, M.F *et al*., 2005; Linden, V.V *et al*., 2006; Zeebroeck, M.V *et al*., 2007; Li, Z.G *et al*., 2007]. خواص فیزیکی - اندازه، چگالی، شکل، حجم، جرم، تخلخل، ...- برای ساخت، کنترل و تنظیم ماشین های برداشت، انتقال، تمیز کن، سورتینگ و فرایندهای پس برداشت ضروری هستند [Kabas *et al*., 2006; Kilickan *et al*., 2008; Zhiguo Li *et al*., 2011].

مواد و روشها

آزمایشات در اسفند 1390 در آزمایشگاه خواص فیزیکی و مکانیکی گروه مکانیک ماشین های کشاورزی دانشگاه رازی کرمانشاه انجام شد . طبق استاندارد دپارتمان کشاورزی امریکا گوجه ریز کرمانشاهی به صورت دستی و در حالت رسیده برداشت شد [USDA, 1991]، سپس گوجه ها به آزمایشگاه منتقل و به صورت دستی تمیز گردیدند و برای 24 ساعت در دمای اتاق (20 ± 1 QC: 63-65% RH) نگهداری شدند. همه خواص فیزیکی بر روی 100 عدد گوجه ریز کرمانشاهی بررسی گردید. جرم نمونه ها توسط یک ترازوی الکترونیکی با دقت 0.01 گرم بدست آمدند. برای محاسبه اندازه میانگین نمونه ها، سه بعد نمونه، طول ، عرض و ضخامت توسط کولیس با حساسیت 0.01 میلی متر اندازگیری شدند. حجم نمونه ها توسط روش جابجایی آب بدست آمدند [Mohsenin, 1986]. میانگین قطر هندسی (D_g)، میانگین قطر حسابی (D_a) و مساحت سطح (S) به ترتیب توسط فرمول های زیر تعیین شدند [Mohsenin, 1986]:

$$D_g = (LWT)^{1/2}$$

$$D_a = \frac{L+W+T}{3}$$

$$S = \pi (D_g)^2$$

که L طول میوه (mm)، W عرض میوه (mm)، T ضخامت میوه (mm)، S مساحت سطح (mm^2)، D_g میانگین قطر هندسی (mm) و D_a میانگین قطر حسابی (mm) هستند. سپس، سطوح تصویر (PA_1، PA_2 و PA_3) در سه جهت عمود بر هم از میوه توسط دستگاه سطح سنج ΔT، مدل MK2 با دقت 0.1 سانتی متر مربع اندازه گیری شد و نهایتا میانگین مساحت سطح رویه (CPA) توسط معادله ی زیر بدست آمد [Mohsenin, 1986]:

$$CPA = \frac{PA_1 + PA_2 + PA_3}{3}$$

که PA_1 ، PA_2 و PA_3 به ترتیب اولین، دومین و سومین سطح تصویر (mm^2) می باشند.

برای محاسبه ضریب کرویت از رابطه ی زیر استفاده می شود [Mohsenin, 1970]:

$$sph = \frac{D_g}{L} \times 100$$

برای محاسبه ی ضریب نسبت شکل، 100 گوجه بصورت تصادفی اتخاب گردید و برای هریک اندازه برداری صورت گرفت. ضریب نسبت شکل (R_a) توسط رابطه ی زیر محاسبه می شود [Hauhouout-O'hara *et al.*, 2000; Omobuwajo, O et al., 1999; Maduako, J. N *et al.*, 1990]:

$$R_a = \frac{W}{L} \times 100$$

چگالی حقیقی گوجه فرنگی توسط روش جابجایی آب به دست آمد [Dutta, S. K *et al.*, 1970]. گوجه هایی که تصادفی انتخاب شده بودند ، تک تک وزن شده و سپس به درون یک استوانه ی مدرج 30 میلی لیتری پر از آب ریخته شدند و مقدار جابجایی آب اندازه گیری شد . سپس چگالی حقیقی ρ_t توسط رابطه ی زیر محاسبه گردید:

$$, \rho_t = \frac{m}{v}$$

که m جرم میوه (kg) و v حجم میوه (m^3) هستند.

برای اندازه گیری چگالی حجمی، از یک استوانه ی 444.50 سانتی متر مکعبی استفاده شد؛ به این صورت که استوانه را پر از گوجه ها کردیم و وزن کل را نیز محاسبه کردیم . این آزمایش 10 بار تکرار گردید. با استفاده از رابطه ی بالا چگالی حجمی (ρ_b) برای هر تکرار محاسبه گردید.

برای تعیین تخلخل (P) از رابطه ی زیر استفاده گردید [Mohsenin, 1970; Jain, R. K., & Bal, S, 1997]:

$$P = \frac{\rho_t - \rho_b}{\rho_t} \times 100$$

مقدار گزارش شده ی تخلخل برابر میانگین 10 تکرار است.

برای تعیین زاویه ی غلتش، محصول در وسط یک صفحه ی افقی قرار گرفت و به آرامی توسط دستگاه شیب سنج اختراع شده توسط دکتر لرستانی صفحه به سمت پایین مایل گردید . در لحظه ای که میوه شروع به غلتیدن بر روی سطح می کند مدار موتور توسط کلید لی زری که میوه آن را تحریک می کند قطع می گردد و شیب سطح توسط سنسور شتاب سنج برداشته می شود و نهایتا زاویه ی سطح ثبت می گردد که زاویه بدست آمده زاویه ی غلتش می باشد.این آزمایش برای 100 گوجه بر روی سه سطح چوبی، شیشه ای و گالوانیزه انجام گردید . لازم به ذکر است که روش انجام شده تامیم یافته ی روش های قدیمی می باشد [Buyanov, A. I., & Voronyuk, B. A., 1985].

برای تعیین ضریب اصطکاک ایستایی، چند محصول به یکدیگر توسط چسب بسته و بر روی سطح افقی قرار داده شدند. سطح افقی بصورت کاملا آرام توسط موتور الکتریکی دستگاه اختراع شده توسط دکتر لرستانی به پایین متمایل می گردد . در لحظه ای که میوه ها شروع به سر خوردن روی سطح می کنند کلید لیزری مدار موتور الکتریکی را قطع کرده و سطح می ایستد . زاویه ی سطح توسط سنسور شتاب سنج ثبت گردید . این آزمایش بر روی 30 بسته محصول بر روی سه سطح چوبی، ش یشه ای و گالوانیزه انجام گردید . لازم به ذکر است که روش انجام شده تامیم یافته ی روش های قدیمی می باشد [Oje, K., & Ugbor, E., 1991].

نتایج و بحث

بر طبق نتایج میانگین، بیشترین، کمترین، انحراف معیار، CV و دامنه ی طول، عرض، ضخامت، میانگین قطر هندسی، میانگین قطر حسابی، حجم، مساحت سطح، جرم، سطوح تصویر، چگالی حقیقی، چگالی حجمی، کرویت، ضریب نسبت شکل و تخلخل در جدول .1 آورده شده اند. بر طبق نتایج، مقادیر میانگین خواص اندازه گیری شده (طول، عرض، ضخامت، میانگین قطر هندسی، میانگین قطر حسابی، حجم، مساحت سطح، جرم، سطوح تصوی ر، چگالی حقیقی، چگالی حجمی، کرویت، ضریب نسبت شکل و تخلخل) به ترتیب برابر 22.57 میلی متر، 21.86 میلی متر، 20.20 میلی متر، 21.51 میلی متر، 21.54 میلی متر، 6.73 میلی لیتر، 1466.02 میلی متر مربع، 6.99 گرم، 917.81 میلی متر مربع، 895.20 میلی متر مربع، 879.72 میلی متر مربع، 1.04 گرم بر سانتی متر مکعب، 0.53 گرم بر سانتی متر مکعب، 95.37٪، 96.88٪ و 48.35٪ بودند. محسنین و اوموبواجو و همکارانش درباره ی اهمیت این خواص و ابعاد برای تعیین اندازه ی ماشین آلات، خصوصا ماشین آلات جداسازی و سورتینگ بحث و تحقیق کرده و بر اهمیت آن ها تاکید نموده اند [Mohsenin., 1978; *Omobuwajo, T. O et al.*, 2000]. در نتیجه این ابعاد و خواص می توانند برای تخمین اندازه ی اجزای ماشین آلات مرتبط مفید باشند.

جدول.1. برخی خواص فیزیکی گوجه ریز کرمانشاهی

خاصیت فیزیکی		گوجه ریز کرمانشاهی					
		بیشترین	کمترین	میانگین	انحراف معیار	CV%	دامنه
L	(mm)	27.70	16.63	22.57	2.21	9.79	11.07
W	(mm)	26.39	16.59	21.86	2.15	9.82	9.83
T	(mm)	24.65	15.70	20.20	2.11	10.46	8.95
M	(g)	10.70	3.09	6.99	1.77	25.30	7.61
V	(ml)	10.41	2.47	6.73	1.76	26.18	7.94
ρ_t	(g/cm^3)	1.81	0.68	1.04	0.11	10.53	1.13
ρ_b	(g/cm^3)	0.56	0.51	0.53	0.27	5.3	4.05
D_g	(mm)	25.30	16.46	21.51	2.03	9.43	8.84
D_a	(mm)	25.33	16.46	21.54	2.03	9.43	8.87
S	(mm^2)	2010.72	851.39	1466.02	270.64	18.46	1159.33
Sph	(%)	99.76	85.56	95.37	2.81	2.95	14.20
PA_1	(mm^2)	1095.40	713.30	917.81	81.90	8.92	382.10
PA_2	(mm^2)	1067.20	701.90	895.20	81.29	9.08	365.30
PA_3	(mm^2)	1054.20	689.40	879.72	79.67	9.06	364.80
CPA	(mm^2)	1067.37	701.53	897.57	79.93	8.91	365.84
R_a	(%)	100.00	88.88	96.88	2.54	2.62	11.12
P	(%)	50.97	46.41	48.35	2.35	4.87	4.56

کرویت و ضریب نسبت شکل به ترتیب 95.37٪ و 96.88٪ بدست آمدند. کرویت بالای گوجه ریز کرمانشاهی تمایل آن را به کروی شکل بودن نشان می دهد. همچنین ضریب نسبت شکل 96.88٪ تمایل محصول را به غلط خوردن روی سطوح نشان می دهد . اوموبواجو و همکارانش درباره ی کرویت سیب و استفاده از این خاصیت برای

جداسازی و سورتینگ آن بر روی سطوح شیب دار بررسی و تحقیق کرده اند و اعلام ک رده اند که سیب در سطوح شیب دار بیشتر تمای ل به غلت خوردن دارد تا سر خورد ن [Omobuwajo, T. O *et al.*, 2000]. همچنین اوولاراف و همکارانش درباره ی ارتباط بین کرویت و ضریب نسبت شکل خرما تحقیق و بررسی کرده اند [Oje, O.K. Owolarafe, M.T *et al.*, 2007].

چگالی حقیقی، چ گالی حجمی و تخلخل گوجه ریز کرمانشاهی به ترتیب برابر 1.04 گرم بر سانتی متر مکعب، 0.53 گرم بر سانتی متر مکعب و 48.35٪ بودند. برای مقدار چگالی حقیقی، تمایل زیادی برای شناور شدن میوه در آب وجود دارد زیرا به چگالی آب (1 گرم بر سانتی متر مکعب) بسیار نزدیک است. این خاصیت می تواند برای جداسازی، سورتینگ و حمل ونقل میوه ها توسط وسایل هیدرودینامیکی مفید باشد . تخلخل پایین گوجه ریز کرمانشاهی می تواند به علت کرویت و ضریب نسبت شکل بالای آن باشد که باعث یکسان نشینی میوه ها در کنار یکدیگر می شود که همچنین توسط اوولاراف و همکارانش بر روی خرما بررسی گردید [Oje, O.K. Owolarafe, M.T *et al.*, 2007].

بر طبق نتایج میانگین، بیشترین، کمترین، انحراف معیار، CV و دامنه ی ضرایب اصطکاک ایستایی، ضرایب غلتش، زوایای اصطکاک ایستایی و زوایای غلتش گوجه ریز کرمانشاهی در جدول .2 آورده شده است . می‌انگین ضرایب اصطکاک ایستایی محصول برابر 0.50 بر روی سطح چوبی، 0.70 بر روی سطح شیشه ای و 0.63 بر روی سطح گالوانیزه بودند. میانگین ضرایب غلتشی محصول برابر 0.16 بر روی سطح چوبی، 0.17 بر روی سطح شیشه ای و 0.19 بر روی سطح گالوانیزه بودند. میانگین زاوایای اصطکاک ایستایی محصول برابر 26.91 درجه بر روی سطح چوبی، 35.22 درجه بر روی سطح شیشه ای و 32.57 درجه بر روی سطح گالوانیزه بودند. میانگین زوایای غلتش محصول برابر 9.79 درجه برای سطح چوبی، 10.83 درجه برای سطح شیشه ای و 11.11 درجه برای سطح گالوانیزه بودند. ضرایب اصطکاک ایستایی برای طراحی مخازن انبارها، قیف ها، سیستم های انتقال بادی، هلیس ها، ماشین های برداشت و غیره حائز اهمیت می باشند [Sahay, K.M. & Singh, K.K., 1996].

جدول.2. برخی خواص اصطکاکی گوجه ریز کرمانشاهی

خاصیت فیزیکی	گوجه ریز کرمانشاهی					
سطح چوبی	ماکزیمم	مینیمم	میانگین	انحراف معیار	CV%	دامنه
ضریب اصطکاک ایستایی	0.63	0.33	0.50	0.09396	18.60	0.30
ضریب غلتشی	0.26	0.11	0.16	0.04644	27.80	0.15
زاویه اصطکاک ایستایی	32.60	18.71	26.91	4.29	15.94	13.89
زاویه غلتش	14.64	6.73	9.79	2.47	25.24	7.91
سطح شیشه ای						
ضریب اصطکاک ایستایی	0.98	0.47	0.70	0.13528	19.24	0.51
ضریب غلتشی	0.25	0.10	0.17	0.04917	27.62	0.15
زاویه اصطکاک ایستایی	44.52	25.63	35.22	5.08	14.44	18.89
زاویه غلتش	14.17	5.77	10.83	2.78	26.96	8.40
سطح گالوانیزه						
ضریب اصطکاک ایستایی	0.74	0.43	0.63	0.10242	16.18	0.31
ضریب غلتشی	0.28	0.12	0.19	0.05621	28.97	0.16
زاویه اصطکاک ایستایی	36.80	23.34	32.57	4.44	13.64	13.46
زاویه غلتش	15.72	6.40	11.11	3.16	28.50	9.32

منابع

1. Allende, A., Desmet, M., Vanstreels, E., Verlinden, B.E. and Nicolai, B.M. Micromechanical and geometrical properties of tomato skin related to differences in puncture injury susceptibility. Postharvest Biology and Technology. (2004), 34 (2), 131–141.
2. Arazuri, S., Jaren, C., Arana, J.I. and Perez De Ciriza, J.J. Influence of mechanical harvest on the physical properties of processing tomato. Journal of Food Engineering. (2007), 80 (1), 190–198.
3. Arora, S. and Kumar, S. Studies on engineering properties of different varieties of tomatoes. IE(I) Journal AG. (2005), 86 (12), 58–60.
4. Blewett, J., Burrows, K. and Thomas, C. A micromanipulation method to measure the mechanical properties of single tomato suspension cells. Biotechnology Letters. (2000), 22 (23), 1877–1883.
5. Buyanov, A. I. & Voronyuk, B. A. Physical and mechanical properties of plants, fertilizers and soils. New Delhi, Bombay, Calcutta, New York: Amerind publishing Co. Pvt. Ltd. (1985).
6. Dutta, S. K., Nema, V. K. & Bhardwaj, R. K. Physical properties of grains. Journal of Agricultural Engineering Research. (1988), 39, 259–268.
7. Gloria, L.C., Matas, A.J., Dominguez, E., Cuartero, J. and Heredia, A. Biomechanics of isolated tomato fruit cuticles: the role of the cutin matrix and polysaccharides. Journal of Experimental Botany. (2007), 233 (1), 1–9.
8. Haciseferogullari, H., Gezer, I., Ozcan, M.M. and Muratasma, B. Postharvest chemical and physical–mechanical properties of some apricot varieties cultivated in Turkey. Journal of Food Engineering. (2007), 79 (1), 364–373.
9. Hauhouout-O'hara, M., Criner, B. R., Brusewitz, G. H. and Solie, J. B. Selected physical characteristics and aerodynamic properties of cheat seed for separation from wheat. The GIGR Journal of Scientific Research and Development. (2000). 2.
10. Jahns, G., Nielsen, H.M. and Paul, W. Measuring image analysis attributes and modeling fuzzy consumer aspects for tomato quality grading. Computers and Electronics in Agriculture. (2001), 31 (1), 17–29.
11. Jain, R. K. and Bal, S. Properties of pearl millet. Journal of Agricultural Engineering Research. (1997), 66, 85–91.
12. Kabas, O., Ozemerzi, A. and Akinci, I. Physical properties of cactus pear grown wild in Turkey. Journal of food Engineering. (2006), 73 (2), 198–202.
13. Kilickan, A. and Guner, M. Physical properties and mechanical behavior of olive fruits under compression loading. Journal of Food Engineering. (2008), 87 (2), 222–228.
14. Maduako, J. N. and Faborode, M. O. Some physical properties of cocoa pods in relation to primary processing. Ife Journal of Technology. (1990), 2, 1–7.
15. Matas, A.J., Cobb, E.D., Bartsch, J.A., Paolillo, D.J. and Niklas, K.J. Biomechanics and anatomy of tomato fruit peels and enzyme-treated samples. American Journal of Botany. (2004), 91 (3), 352–360.
16. Mohsenin, N. N. Physical properties of plant and animal materials. New York: Gordon and Breach Science Publishers (1978).
17. *Mohsenin, N. N. Physical properties of plant and animal materials. New York: Gordon and Breach Science Publisher. (1970).*

18. Mohsenin, N.N. Physical Properties of Plant and Animal Materials, Second revised. Gordon and Breach Sci. Publ., New York. (1986).
19. O.K. Owolarafe, M.T. Olabige and M.O. Faborode. Physical and mechanical properties of two varieties of fresh oil palm fruit. Journal of Food Engineering. 78, (2007), 1228–1232.
20. Oje, K. and Ugbor, E. CSome physical properties of oil bean seed. J. Agric. Eng. Res. (1991), 50, 305–313.
21. Omobuwajo, O. T., Akande, A. E. and Sanni, A. L. Selected physical, mechanical and aerodynamic properties African Breadfruit (Treculia africana) seeds. Journal of Food Engineering. (1999). 40, 241–244.
22. Omobuwajo, T. O., Sanmi, L. A. and Olajide, J. O. (2000). Physical properties of ackee apple seeds. Journal of Food Engineering, 45, 43–48.
23. Sahay, K.M. and Singh, K.K., (1996). Unit Operation of Agricultural Processing. Vikas Publishing House Pvt. Ltd., New Delhi, India.
24. Tanigaki, K., Fujiura, T., Akase, A. and Imagawa, J. Cherry harvesting tomato.Computers and Electronics in Agriculture. (2008), 63 (1), 65–72.
25. USDA, United standards for grades of fresh tomatoes. (1991). Available from: http://www.ams.usda.gov/standards/tomatfrh.pdf Last accessed on: 10/4/ 2011.
26. Varshney, A.K., Sangani, V.P. and Antala, D.K. Effect of storage on physical and mechanical properties of tomato. Agricultural Engineering Today. (2007), 31 (3), 1–8.
27. Viswanathan, R., Pandiyarajan, T. and Varadaraju, N. Physical and mechanical properties of tomato fruits as related to pulping. Journal of Food Science and Technology. (1997), 34 (6), 1–3.
28. Wang, C.X., Pritchard, J. and Thomas, C.R. Investigation of the mechanics of single tomato fruit cells. Journal of Texture Studies. (2006), 37 (5), 597–606.
29. Wang, C.X., Wang, L. and Thomas, C.R. Modeling the mechanical properties of single suspension cultured tomato cells. Annals of Botany. (2004), 93 (4), 443–453.
30. Zhiguo Li, Pingping Li and Jizhan Liu. Physical and mechanical properties of tomato fruits as related to robot's harvesting. Journal of Food Engineering. 103 (2011) 170–178.