

9142 食塩溶液による野菜の脱水

大坪 藤代(長崎女子短期大学)

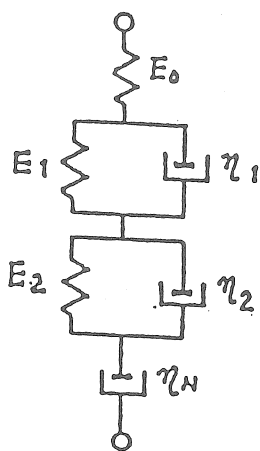
演者らは日常食している野菜27種の浸透圧を測定し 5atm~12atmの浸透圧をもち、葉菜、果菜、根菜の順に高くなることを明らかにし、ダイコンの場合はほぼ 2.5% (浸透圧 14atm) 以上の食塩濃度溶液では脱水速度定数は等しく食塩濃度に依存しないことを報告した。¹⁾ 脱水により野菜の物性が大きく変化し食味に影響を及ぼす。これが漬物のおいしさの一つの要因になっている。ダイコンおよびウリ類の漬物加工の基本は塩漬けであることから、ダイコンの食塩溶液による浸透圧脱水が野菜の物性にどのように影響するのかについて、主としてレオロジカルな立場から考察した。

実験方法

アオクビダイコンを約10℃の冷蔵庫にて10%および飽和食塩溶液に 105日間漬け込み、その間経時的にクリープおよび剪断力を測定した。クリープは山電クリープメーター、RE 3305を用い、剪断力はクリープメーターに剪断刃を取り付けて測定した。

結果

塩漬け脱水されたダイコンのクリープ曲線はマックスウエルとフォークトの粘弾性力学モデルで六要素モデルで解析することができた。咀嚼感覚に寄与するであろうと思われる



E_0 :
瞬間変型弾性係数

E_1, E_2 :
遅延変型弾性係数

瞬間変型および遅延変型弾性係数は共に塩漬け1週間で 10^7 オーダーから 10^5 (dyne/cm²) オーダーまで大きく低下した。その後80日前後まで徐々に増加し以後再び減少した。

剪断力は同様に塩漬け1週間で大きく増大し60~80日まで徐々に減少し以後再び増加した。脱水による弾性係数の減少と食塩による組織変化とが複雑に絡み合っていることが推定された。

10%および飽和食塩溶液による物性の変化はほぼ同じであった。

塩漬けダイコンの六要素モデル

1)大坪, 宮川. 食塩溶液による野菜の脱水, 日本海水学会 44,328(1990)

9142 食塩溶液による野菜の脱水

大坪 藤代 (長崎女子短期大学)

1. 緒言

漬物をはじめ野菜の塩もみなど、味付けと共に脱水を目的として、食塩を用いる加工または調理が多い。食塩による野菜の脱水は浸透圧に起因することは明らかであるが、その研究は意外にも少ない^{1) ~ 3)}。本研究者は日常食している27種の野菜の浸透圧を測定し、5atm~ 12atmの浸透圧をもち、葉菜、果菜、根菜の順に高くなることを明らかにした。またアオクビダイコンを用いて食塩濃度の関数としての脱水速度を求め、速度論的に脱水現象を考察した⁴⁾。

脱水による野菜の物性が大きく変化し食味に影響を及ぼす。これが漬物のおいしさの一つの要因となっている。本研究は食塩による野菜の浸透圧脱水が野菜の物性にどのように影響するか、主としてレオロジカルな立場から考察しようとするものである。

2. 試料ならびに実験方法

平均重量約800gの新鮮なアオクビダイコンを用いた。35×35×15cmのタッパーウェア容器に2~3本の皮付きまたは皮剥ぎダイコンを入れ、飽和食塩水ならびに10%食塩水に浸漬し、冷蔵庫(10±1℃)に105日間貯蔵した。飽和食塩水の場合はダイコンからの水の離水による食塩濃度希釈を考慮して常に食塩結晶が存在するようにし、10%食塩水の場合は20日ごとに入れ替えて調整した。重石はダイコンが浮かない程度の重石を用いた。

レオロジカルな測定は山電(KK)のクリープメーター(レオナー、RE-3305型)を用い、クリープならびに剪断力(固さおよびもろさ)を測定した。測定試料は次のように調整した。

ダイコンを約3cm幅に横に切断し、顕微鏡試料調整用のカミソリ刃2枚を正確に幅20mmになるようプラスチック板に固定したカッターを自作し、このカッターで縦に切断しそれを横に倒し、さらに径18mmのコルクボーラーでくり抜いて径18mm、高さ20mmの円柱試料を作成した。したがって元のダイコンの横軸がこの試料の縦軸となっている。

剪断力測定用の試料は上記と同じように正確に幅15mmおよび20mmに調整した2枚刃のカッターでダイコンを立方体に調整した。測定はクリープメーター剪断用ナイフを取り付け、試料を乗せた試料皿を一定速度で上昇させナイフによる剪断応力を記録させて求めた。

クリープ曲線の解析

典型的な塩漬けダイコンのクリープ曲線を図1に示した。またこのクリープ曲線はフォークトの六要素粘弾性モデルで解析することができた(図1)。その解析法は次のとおりである。

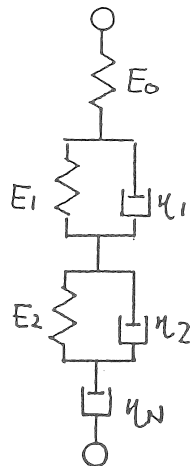
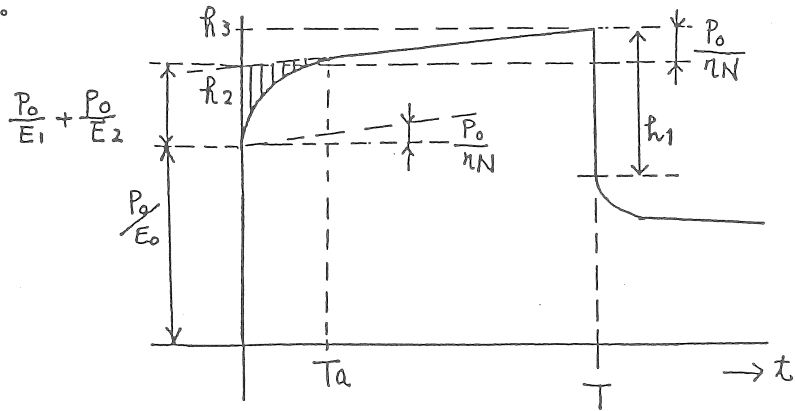


図1 塩漬けダイコンのクリープ曲線と六要素フォークトモデル

いま試料A [断面積S (cm²)、高さH (cm)] を一定応力 (g) でT秒間圧縮変形し、その後T秒間除重したときの、試料Aの(変形-時間)曲線(クリープ)を六要素モデルで解析する。

このクリープ曲線は、瞬間変形に対応する瞬間弾性部と、遅延変形に対応する粘弾性部および定常粘性部に解析され、瞬間変形部はスプリングで示したフック弾性体模型に、遅延変形部はスプリングとダッシュポットで示した2組の直列型フォークト粘弾性体模型に、定常粘性部はダッシュポットで示したニュートン粘性体模型に近似的に対応できるものとみなせる。その式は次のようになり、粘弾性係数が求められる。

$$\epsilon(t) = \frac{P_0}{E_0} + \frac{P_0}{E_1} \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau K_1}}\right) + \frac{P_0}{E_2} \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau K_2}}\right) + \frac{P_0}{\eta N} t$$

$$\tau K_1 = \frac{\eta_1}{E_1}, \quad \tau K_2 = \frac{\eta_2}{E_2}$$

ここで、 $\epsilon(t)$: 歪、 P_0 : 一定応力、 E_0 : フックの弾性体、 E_1 、 E_2 : フォークト体の弾性率、 τK_1 、 τK_2 : 遅延時間、 ηN : ニュートン体の粘性率、 η_1 、 η_2 : フォークト体の粘性率、 t : 時間 である。

六要素模型のそれぞれのパラメーター値は山電自動解析装置を用いて求めた。

3. 結果

飽和食塩溶液および10%食塩溶液に3ヶ月間約10℃に於いて漬け込んだダイコンを経時的に取り出し、クリープおよび切断力を測定し、六要素モデルとして解析した場合の各パラメーターの値および切断力の値を表1、2および3に示した。

表 1

飽和食塩水に漬け込んだダイコンのレオロジカル・パラメーター値
・その1 (皮付きダイコンの場合)

日数	E_0 (dyne/cm ²)	E_1 (dyne/cm ²)	E_2 (dyne/cm ²)
0	$3.15(\pm 0.35) \times 10^7$	$8.93(\pm 0.75) \times 10^7$	$7.68(\pm 0.97) \times 10^7$
7	$3.27(\pm 0.86) \times 10^5$	$9.12(\pm 0.82) \times 10^5$	$9.21(\pm 1.09) \times 10^5$
10	$1.69(\pm 0.21) \times 10^5$	$5.55(\pm 0.61) \times 10^5$	$8.13(\pm 0.09) \times 10^5$
16	$2.16(\pm 0.31) \times 10^5$	$7.37(\pm 0.57) \times 10^5$	$9.25(\pm 1.05) \times 10^5$
23	$3.90(\pm 0.25) \times 10^5$	$1.39(\pm 0.16) \times 10^6$	$1.73(\pm 0.09) \times 10^6$
45	$8.09(\pm 0.98) \times 10^5$	$2.09(\pm 0.14) \times 10^6$	$3.86(\pm 0.26) \times 10^6$
65	$5.49(\pm 0.46) \times 10^5$	$2.34(\pm 0.08) \times 10^6$	$4.79(\pm 0.23) \times 10^6$
85	$5.60(\pm 0.52) \times 10^5$	$5.46(\pm 0.21) \times 10^6$	$7.22(\pm 0.58) \times 10^6$
105	$4.19(\pm 0.33) \times 10^5$	$1.84(\pm 0.11) \times 10^6$	$2.43(\pm 0.12) \times 10^6$

日数	η_1 (dyne·sec/cm ²)	η_2 (dyne·sec/cm ²)	η_N (dyne·sec/cm ²)
0	1.07(±0.32)×10 ⁸	7.49(±0.56)×10 ⁸	5.22(±0.96)×10 ⁸
7	6.10(±0.88)×10 ⁷	4.15(±0.41)×10 ⁶	5.86(±0.47)×10 ⁹
10	4.99(±0.31)×10 ⁷	6.80(±0.53)×10 ⁶	5.14(±0.85)×10 ⁹
16	8.00(±0.99)×10 ⁷	8.00(±0.79)×10 ⁶	6.44(±0.55)×10 ⁹
23	9.50(±0.79)×10 ⁷	1.35(±0.08)×10 ⁷	8.42(±0.96)×10 ⁹
45	3.85(±0.21)×10 ⁸	4.20(±0.38)×10 ⁷	1.32(±0.07)×10 ⁹
65	2.83(±0.14)×10 ⁸	6.40(±0.33)×10 ⁷	1.73(±0.04)×10 ⁹
85	6.75(±0.48)×10 ⁸	2.33(±0.07)×10 ⁸	1.52(±0.10)×10 ⁹
105	1.05(±0.08)×10 ⁸	1.80(±0.08)×10 ⁹	1.15(±0.06)×10 ⁹

・その2 (皮むきダイコンの場合)

日数	E_0 (dyne/cm ²)	E_1 (dyne/cm ²)	E_2 (dyne/cm ²)
0	3.15(±0.23)×10 ⁷	8.93(±0.68)×10 ⁷	7.68(±0.82)×10 ⁷
7	3.01(±0.18)×10 ⁵	9.08(±0.55)×10 ⁵	1.36(±0.10)×10 ⁵
16	2.51(±0.22)×10 ⁵	9.46(±0.67)×10 ⁵	2.82(±0.16)×10 ⁵
25	3.09(±0.16)×10 ⁵	1.57(±0.09)×10 ⁶	2.29(±0.14)×10 ⁵
45	4.65(±0.61)×10 ⁵	1.79(±0.12)×10 ⁶	1.61(±0.10)×10 ⁶
65	4.96(±0.50)×10 ⁵	2.29(±0.16)×10 ⁶	6.46(±0.33)×10 ⁶
85	6.02(±0.33)×10 ⁵	4.09(±0.31)×10 ⁶	3.00(±0.18)×10 ⁶
105	3.65(±0.22)×10 ⁵	2.20(±0.18)×10 ⁶	2.53(±0.12)×10 ⁶

日数	η_1 (dyne·sec/cm ²)	η_2 (dyne·sec/cm ²)	η_N (dyne·sec/cm ²)
0	1.07(±0.31)×10 ⁸	7.49(±1.56)×10 ⁸	5.22(±1.96)×10 ⁸
7	1.35(±0.11)×10 ⁸	1.39(±0.06)×10 ⁷	6.12(±0.75)×10 ⁸
16	9.77(±0.73)×10 ⁷	4.40(±0.28)×10 ⁷	7.16(±0.48)×10 ⁸
25	1.67(±0.09)×10 ⁸	2.40(±0.12)×10 ⁷	2.78(±0.63)×10 ⁸
45	1.09(±0.08)×10 ⁸	0.80(±0.05)×10 ⁷	3.69(±0.47)×10 ⁸
65	1.63(±0.11)×10 ⁸	0.55(±0.03)×10 ⁷	2.15(±0.17)×10 ⁹
85	1.55(±0.18)×10 ⁸	0.59(±0.06)×10 ⁷	1.53(±0.16)×10 ⁹
105	2.00(±0.16)×10 ⁸	0.31(±0.04)×10 ⁷	1.39(±0.11)×10 ⁹

表2

10%食塩水に漬け込んだダイコンのレオロジカル・パラメーター値

・その1 (皮付きダイコンの場合)

日数	E_0 (dyne/cm ²)	E_1 (dyne/cm ²)	E_2 (dyne/cm ²)
0	$3.15(\pm 0.35) \times 10^7$	$8.93(\pm 1.43) \times 10^7$	$7.68(\pm 0.97) \times 10^7$
25	$5.66(\pm 0.42) \times 10^5$	$2.92(\pm 0.38) \times 10^6$	$2.12(\pm 0.11) \times 10^6$
45	$8.37(\pm 0.64) \times 10^5$	$3.40(\pm 0.37) \times 10^6$	$2.87(\pm 0.21) \times 10^6$
65	$8.77(\pm 0.72) \times 10^5$	$2.43(\pm 0.17) \times 10^6$	$3.32(\pm 0.29) \times 10^6$
85	$5.56(\pm 0.44) \times 10^5$	$1.67(\pm 0.21) \times 10^6$	$3.10(\pm 0.33) \times 10^6$
105	$5.98(\pm 0.60) \times 10^5$	$1.38(\pm 0.10) \times 10^6$	$1.65(\pm 0.13) \times 10^6$

日数	η_1 (dyne·sec/cm ²)	η_2 (dyne·sec/cm ²)	η_N (dyne·sec/cm ²)
0	$1.07(\pm 0.32) \times 10^9$	$7.49(\pm 1.56) \times 10^9$	$5.22(\pm 1.96) \times 10^9$
25	$0.98(\pm 0.06) \times 10^9$	$3.06(\pm 0.88) \times 10^9$	$1.23(\pm 0.09) \times 10^9$
45	$2.15(\pm 0.15) \times 10^9$	$1.22(\pm 0.08) \times 10^9$	$2.08(\pm 0.13) \times 10^9$
65	$1.67(\pm 0.08) \times 10^9$	$0.17(\pm 0.02) \times 10^9$	$0.87(\pm 0.06) \times 10^9$
85	$1.01(\pm 0.08) \times 10^9$	$0.34(\pm 0.02) \times 10^9$	$1.25(\pm 0.09) \times 10^9$
105	$0.92(\pm 0.08) \times 10^9$	$0.05(\pm 0.01) \times 10^9$	$0.54(\pm 0.03) \times 10^9$

・その2 (皮むきダイコンの場合)

日数	E_0 (dyne/cm ²)	E_1 (dyne/cm ²)	E_2 (dyne/cm ²)
0	$3.15(\pm 0.35) \times 10^7$	$8.93(\pm 1.43) \times 10^7$	$7.68(\pm 0.97) \times 10^7$
25	$4.42(\pm 0.33) \times 10^5$	$1.81(\pm 0.12) \times 10^6$	$2.11(\pm 0.24) \times 10^6$
65	$8.13(\pm 0.66) \times 10^5$	$4.34(\pm 0.15) \times 10^6$	$4.10(\pm 0.13) \times 10^6$
85	$7.32(\pm 0.38) \times 10^5$	$3.15(\pm 0.28) \times 10^6$	$3.92(\pm 0.66) \times 10^6$
105	$5.41(\pm 4.81) \times 10^5$	$1.13(\pm 0.09) \times 10^6$	$3.32(\pm 0.98) \times 10^6$

日数	η_1 (dyne·sec/cm ²)	η_2 (dyne·sec/cm ²)	η_N (dyne·sec/cm ²)
0	$1.07(\pm 0.32) \times 10^9$	$7.49(\pm 1.56) \times 10^9$	$5.22(\pm 1.96) \times 10^9$
25	$1.17(\pm 0.67) \times 10^9$	$0.21(\pm 0.03) \times 10^9$	$14.79(\pm 1.13) \times 10^9$
65	$1.38(\pm 0.11) \times 10^9$	$0.25(\pm 0.02) \times 10^9$	$2.86(\pm 0.16) \times 10^9$

85	$3.48(\pm 0.28) \times 10^8$	$0.30(\pm 0.02) \times 10^8$	$9.60(\pm 0.75) \times 10^8$
105	$1.27(\pm 0.17) \times 10^8$	$0.35(\pm 0.02) \times 10^8$	$4.98(\pm 0.29) \times 10^8$

表3

食塩水に漬け込んだ場合のダイコンの切断力の変化

・ 剪断力(dyne/cm²)

日数	飽和食塩水		10%食塩水	
	皮付き	皮むき	皮付き	皮むき
0	1.03(±0.07)	1.03(±0.06)	1.03(±0.05)	1.03(±0.06)
7	3.93(±0.14)	3.81(±0.13)	3.88(±0.15)	3.70(±0.14)
25	3.75(±0.14)	3.50(±0.12)	3.80(±0.23)	3.45(±0.16)
45	3.41(±0.17)	3.32(±0.17)	3.66(±0.18)	3.34(±0.22)
65	3.54(±0.31)	3.36(±0.20)	3.47(±0.21)	3.32(±0.19)
85	3.67(±0.22)	3.40(±0.22)	3.80(±0.13)	3.59(±0.21)
105	4.09(±0.26)	3.60(±0.17)	3.79(±0.24)	3.67(±0.28)

4 考察

漬物のおいしさは酸味、香味などの化学的成分による味と共に歯ごたえ、歯切れなどで表現される物理的な味が大きく影響を与えている。漬物に関するレオロジカルな研究は加藤による義歯咬合器を用いた「たくわん」の力学的挙動はフォークト粘弾性模型で六要素モデルで理解できるとされているが、その詳細なデータは報告されていない⁵⁾。

様々な野菜が漬物として加工されているが、その基本は塩漬けである。本研究ではアオクビダイコンを用いて塩漬けによるクリープおよび切断力の変化を経時的に測定した。クリープ曲線は図1に示したようにマックスウエルとフォークトの粘弾性模型で六要素モデルとして解析することができた。これは加藤の「たくわん」の報告⁵⁾と一致する。塩漬けダイコンを咀嚼した場合の歯ごたえ、歯切れなどの感覚は表1、2、3に示した六要素モデルのパラメーター値とどのように対比させるかについてはかなり問題はあるが、瞬間変型部E₀、遅延変型部E₁、E₂および切断力の変化と対比させることができよう。従って、E₀、E₁、E₂および固さ、もろさの値の変化を図に示すと図3、4、5、6、7のようになる。

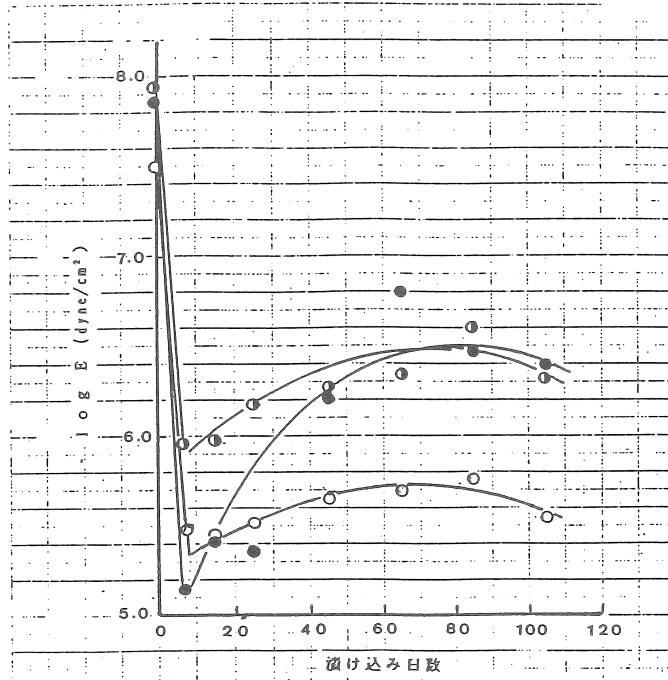


図 2 飽和食塩水に漬けた皮付きダイコンのクリープ曲線から得られた六要素モデルの瞬間変型部および遅延変型部における弾性係数(対数)に及ぼす漬け込み日数の影響
 ○ — 瞬間変型部の弾性係数 E_1 ;
 ○● — 遅延変型部の弾性係数 E_2 ;
 ● — 遅延変型部の弾性係数 E_3 ;

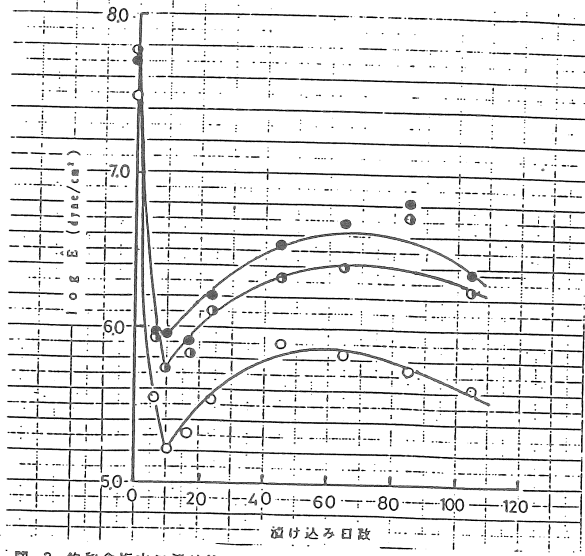


図 3 飽和食塩水に漬けた皮むきダイコンのクリープ曲線から得られた六要素モデルの瞬間変型部および遅延変型部における弾性係数(対数)に及ぼす漬け込み日数の影響
 ○ — 瞬間変型部の弾性係数 E_1 ;
 ○● — 遅延変型部の弾性係数 E_2 ;
 ● — 遅延変型部の弾性係数 E_3 ;

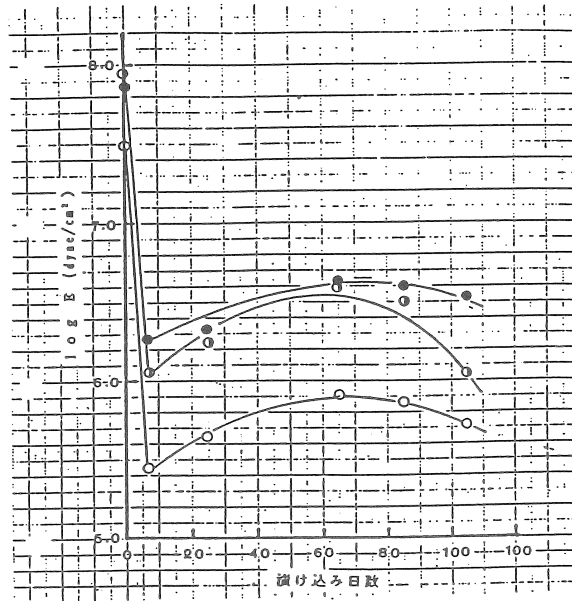


図 4 10%食塩水に漬けた皮付きダイコンのクリープ曲線から得られた六要素モデルの瞬間変型部および遅延変型部における弾性係数(対数)に及ぼす漬け込み日数の影響

- 瞬間変型部の弾性係数 E_1
- 遅延変型部の弾性係数 E_2
- 遅延変型部の弾性係数 E_3

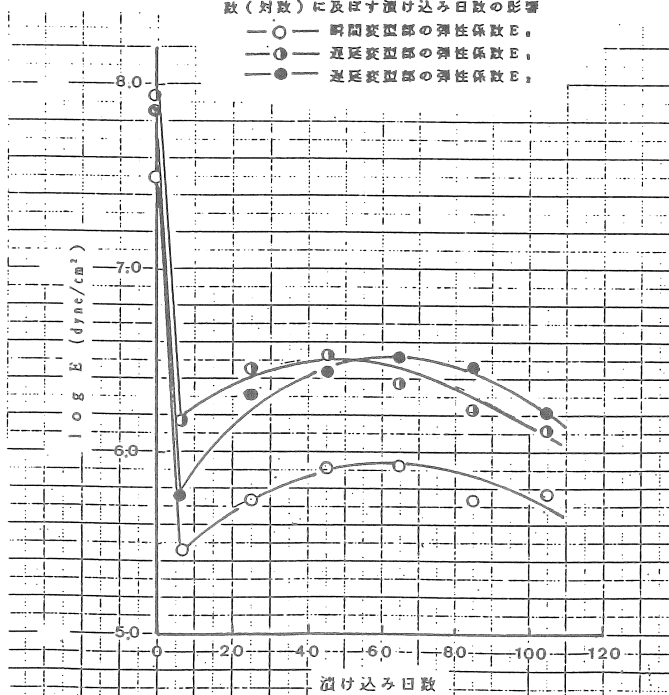


図 5 10%食塩水に漬けた皮むきダイコンのクリープ曲線から得られた六要素モデルの瞬間変型部および遅延変型部における弾性係数(対数)に及ぼす漬け込み日数の影響

- 瞬間変型部の弾性係数 E_1
- 遅延変型部の弾性係数 E_2
- 遅延変型部の弾性係数 E_3

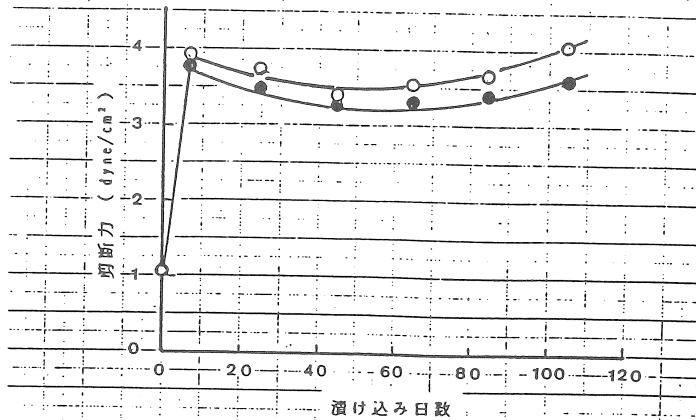


図 6 飽和食塩水に漬け込んだダイコンの剪断力に及ぼす漬け込み日数の影響

—○— 皮付きダイコン
—●— 皮むきダイコン

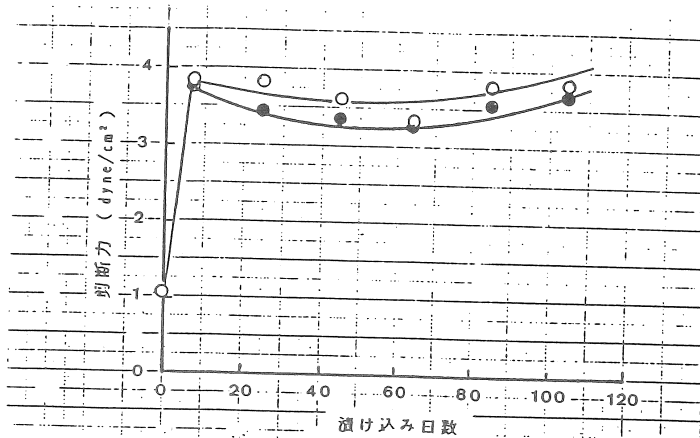


図 7 10%食塩水に漬け込んだダイコンの剪断力に及ぼす漬け込み日数の影響

—○— 皮付きダイコン
—●— 皮むきダイコン

弾性変化は飽和食塩水よりも10%食塩水による方が変化が小さいことが理解できよう。切断力も同様に漬け込み後約一週間で急激に強くなり以後次第に減少し60日前後から再び上昇する。この結果は六要素モデルの弾性率変化と完全に対応している。

文 献

1. 下田吉人（編）、“穀物・野菜の調理”、p.172、朝倉書店、東京(1972)
2. 元山正、“調理科学ノート”、p.293、第一出版、東京(1972)
3. 調理科学研究会（編）、“調理科学”、p.355、光生館、東京(1984)
4. 大坪藤代、宮川金二郎、“食塩溶液による野菜の脱水”、日本海水学会誌、44、328、(1990)
5. 加藤寿美子、“食品のレオロジーに関する研究（第5報）”、家政学会誌、17、237、(1966)

Dehydration of Vegetables in Saline Solution (Continuation)
Rheological Properties of Daikon in Saline Solutions

Fujiyo Otsubo and Kinjiro Miyagawa*

Laboratory of Cooking Science, Nagasaki Womens College

*Faculty of Education, Kagawa University

Summary

In our earlier paper, dealing with the dehydration of vegetables in saline solutions, it was shown that the osmotic pressures of 27 vegetables were in the range of 5 to 12 atm, and in case of Daikon, the rates of the dehydration were constant at the concentration of saline over 2.5% (14 atm of osmotic pressure). By dehydration, the rheological properties of vegetables might be changed and be effected to resistance to the teeth.

The object of this paper is to describe changes of rheological properties of Daikon by dehydration in saline solutions during 105 days.

Daikons were soaked in 10% and saturated saline solutions in a cold room (approximately 10°C) for 105 days. During soaking, rheological properties, that is, creep and power of shearing were measured with the passage of time. The results were as follows;

The creep curves of pickled Daikons could be analyzed by six-element model with Maxwell and Voigt elements. Elastic moduluses of instantaneous deformation (E_0) and retarded elasticities, (E_1) and (E_2) which are seemed to be contributed to the sensibility of mastication were plotted with time. E_0 , E_1 , E_2 were steeply decreased from the order of 10^7 to 10^5 (dyne/cm²) during a week in the saline solutions, after that the values of elastic moduluses gradually increased up to about 80 days, then gradually decreased again. The powers of shearing were also steeply increased during a week in saline solutions, after that the powers of shearing gradually decreased up to 80 days, then gradually increased again. From these results, it was assumed that the change of elastic modulus and change of tissue of Daikon might be complicated twined with one another.