

葉菜類의 凋萎와 力學物性

1. 凋萎와 物性變化

孔 在 烈

釜山水産大學 冷凍工學科
(1986年 8月 30日 授受)

Relation the Role of Water in Withering and Mechanical Properties of Some Leafy Vegetables

1. Effect of Withering on Viscoelastic Properties of Spinach and Leek

Jai-Yul Kong

*Department of Refrigeration Engineering,
National Fisheries University of Pusan
(Received August, 30, 1986)*

Abstract

The purpose of this study was to investigate the effect of withering on mechanical properties for optimizing the condition of transportation and storage of fresh leafy vegetables which they would be easily able to be suffered the physical damage.

Experimental material used were spinaches and leeks which were easily apt to be withered. The breaking stress, elastic modulus and viscosity were measured in the range of temperature 3~37°C and water content 70~95% by the four element model, being used the creep tester made by author.

As a result of this study, while water content was decreased, breaking stress was increased. The elastic modulus and viscosity of the specimens were not influenced on temperature, but on water content.

In reversibility test of the withering, the appearance, water content and elastic modulus of the specimens were completely recovered to the initial freshness, but the viscosity was not.

緒 論

농산물 취급의 機械化가 진전됨에 따라 農産物의 力學物性에 관한 關心이 높아져 왔다. 특히 미국에서는 1950년대에 靑果物의 機械的 收穫의 發達로 인하여 靑果物의 機械的 損傷에 대한 研究가 활발히 이루어지고 있다. Mohsenin¹⁾에 의

하면 1925년에 이미 Magress와 Tayler가 사과와 壓縮試驗研究²⁾를 수행하였으며 그 자신도 토마토 감자, 복숭아, 배 등에 대하여 壓縮試驗을 행한 결과²⁾ 이들의 力學的 舉動을 Burgers Model로 表現할 수 있으며, 압축에 의해 最初의 破壞가 일어나는 應力을 生物降伏點이라 불렀다. 그후 各種 果實, 野菜의 物性에 대한 破壞 또는 非破壞 試

驗研究가 이루어졌으며^{3,7)} 이들의 物性值를 果實 野菜의 品質評價에 使用하려는 試圖도 또한 적지 않다. 그러나 葉菜類의 物性에 대하여서는 그 測定例⁸⁾가 그렇게 많지 않은 실정이며, 오늘날과 같이 食糧生産域과 消費域의 分離가 顯著하여 食糧流通의 廣域化가 이루어짐에 따라 輸送·保藏空間의 側面에서도 葉菜類의 水分含量에 따른 密度, 物理的 損傷의 難易等의 再檢討가 要望된다 하겠다. 이러한 觀點에서 本 研究에서 使用한 試料로는 年中 입수, 재배가 容易하고 凋萎現象이 잘 일어나는 시금치와 부추를 選擇하였으며 葉菜類의 輸送·保藏條件의 合理化를 위한 資料를 提供할 目的으로 葉菜類의 凋萎(시들음)를 同伴하는 力學物性 즉, 水分含量과 溫度變化에 따른 겉보기밀도, 引張強度, 彈性率, 粘性率 및 凋萎의 加逆性的 變化에 대하여 測定하였기에 그 結果를 報告하기로 한다.

材料 및 方法

1. 겉보기密度的 測定

金海평야에서 재배한 시금치와 부추를 購入하여 24時間 및 48時間 放置한후 生鮮狀態의 것을 30cm×15cm×23cm 크기의 단불상자에 포장한 다음 그 무게를 달아서 겉보기밀도를 구했다. 測定時의 室溫은 약 22℃, 濕度는 약 60%였다. 試料의 水分含量은 各各 3개의 試料를 채취, 70℃에서 약 5時間 乾燥後에 重量減少를 求하여 그 平均値를 취했다.

2. 引張破斷試驗

Rheometer RUD-J型(八神理科)을 使用하여 溫度 20±1℃, 濕度 60±8%의 室內에서 引張에 의한 破斷試驗을 하였다. 시금치는 가로 15mm, 세로 30mm의 試片을, 부추는 가로는 自然 넓이, 세로 30mm의 試片을 各各 使用하여 兩者 모두 세로방향으로 速度 4.0m/s로 당겼다. 단 試片의 무게는 노기스(Nonius)로 3점 측정하여 그 平均値를 취했다. 동시에 試片으로 쓰고 남은 나머지 部分을 70℃에서 약 5시간 乾燥시켜 水分含量을 測定했다. 破斷試驗에서 얻는 차트의 直線部分을 試料의 겉보기彈性率(Apparent elasticity)로 보았다.

3. Creep 試驗

3-1. 크리프試驗機의 製作

葉菜類에 대한 適當한 市販試驗機가 없어서 크리프(Creep) 시험기를 自作했다. 差動트랜스(Transducer) DCP-2.5型, 滑車, 定電壓供給裝置, 記錄計를 組合한 것으로서 그 모식도는 Fig.1에 나타냈다. 溫度調節(-30℃~70℃)이 가능한 恒溫水槽에 流動파라핀容器를 固定하여 所定の 溫度로 調整한 다음 파라핀액에 試料를 浸漬시켜 시험을 했다. 또 滑車部의 마찰을 줄이기 위하여 Needle軸受型 滑車(Pulley)를 만듦으로서 이를 해결하였으며, 파라핀액의 浮力의 影響에 의한 試片이 느슨해짐을 防止하기 위하여 바란스용의 4kg의 荷重(dash-pot)을 附加하여 부착했다.

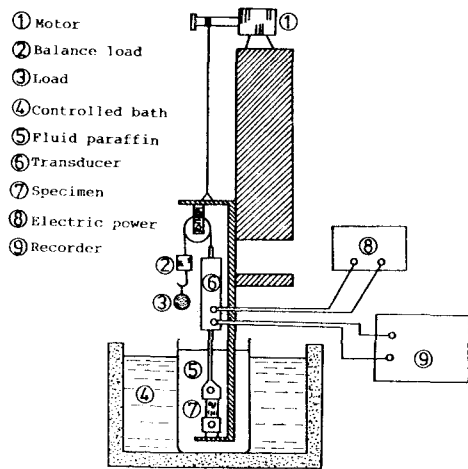


Fig. 1. Schematic illustration of apparatus made by author for creep test.

3-2. 實驗方法

시금치와 부추의 試片의 크기, 引張方向, 水分含量의 測定等은 引張破斷試驗時와 同一하다. 시험데이터를 Fig.2에 나타낸 바와 같이 四要素모델에 近似시켜 各 物性值를 구했다. Fig.2에서 보는 바와 같이 4요소모델에 있어 全體에 주어지는 應力을 P_0 , 時間 t 에 있어서의 變形 ϵ 는 다음식 (1)과 같이 주어진다.

$$\epsilon = P_0 / \gamma_M + P_0 \gamma_v (1 - e^{-t/\tau_k}) + 1 / \eta_M P_0 t \dots\dots(1)$$

단, γ_M : Maxwell Body의 彈性率

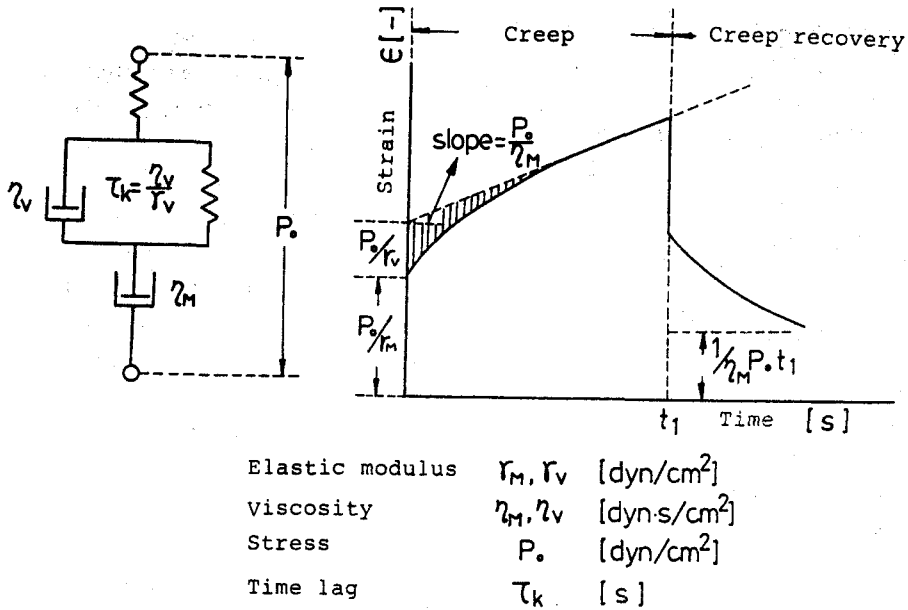


Fig. 2. Typical creep curve and four-element model combining the Maxwell and Voigt models.

- η_m : Maxwell Body의 粘性率
- γ_v : Voigt Body의 彈性率
- η_v : Voigt Body의 粘性率
- τ_k : 遲延時間

γ_m 은 荷重을 걸었을 순간의 瞬間變形으로부터 구하며 η_m 은 t 가 커질때 크리프 曲線의 漸近線의 勾配로부터 求한다. 式 (1)에서 $t = \infty$ 이면

$$\epsilon = P_0/\gamma_m + P_0/\gamma_v + 1/\eta_m P_0 t \dots \dots \dots (2)$$

그리고 式 (1)-式 (2)로부터

$$\Delta \epsilon P_0/\gamma_v e^{-\frac{t}{\tau_k}} \dots \dots \dots (3)$$

따라서 Fig.2에서 $\Delta \epsilon$ 을 求하여 $\log \Delta \epsilon_{v_s}, t$ 를 플로트한 直線의 勾配에서 遲延時間 τ_k 가 求해진다.

또한,

$$\tau_k = \eta_v/\gamma_v \dots \dots \dots (4)$$

의 關係로부터 η_v 가 求해진다.

4. 彈性率·粘性率의 溫度依存性

시금치와 부추의 溫度에 의한 物性值의 變化를

調査하기 위하여 다음과 같은 方法을 택했다. 먼저 시금치와 부추에 대하여 3℃와 37℃의 游動파라핀액에 담근채 크리프시험을 하여, 各物性值을 水分含量과 함께 구한후에 溫度에 의한 영향 여부를 調査했다. 그 다음 無荷重狀態下에서 시금치와 부추를 3℃와 37℃의 游動파라핀에 各各 浸漬시켜 伸長收縮 여부를 調査했다.

5. 凋萎의 可逆性

生鮮狀態의 시금치와 부추를 溫度 21±1℃, 濕度 55±5%의 室內에 24~48 時間 放置하면 凋萎狀態로 變한다. 그 후 약 20℃의 물에 약 24時間 浸漬한 다음 復元의 狀態를 觀察한다. 同時에 各狀態에 있어서 物性值과 水分含量을 各試料에 대하여 3점씩 얻은후 平均值를 求하여 比較對照했다.

結果 및 考察

1. 겉보기密度的 測定

測定結果는 Table 1에 나타낸 바와 같이 시금치는 水分含量이 84%에서 78%까지 減少하는데

Table 1. Bulk density of the spinach and leek.

Spinach			Leek		
Water content [% W.B.]	Degree of withering	Bulk density [kg d. m/m ³]	Water content [% W.B.]	Degree of withering	Bulk density [kg d. m/m ³]
84	—	16	92	—	15
82	+	20	90	+	20
78	⦿	27	86	⦿	23

—……Fresh +……Withered ⦿……Partially dried

따라서 절보기밀도는 약 1.7배 增加했으며, 부추에서는 水分含量 92%에서 86%까지 減少하는데 따라서 약 1.5배 增加했다.

2. 破斷應力의 測定

破斷應力, 절보기彈性率을 各各 水分含量에 대하여 플랫폼한 것으로 시금치에 관한 것은 Fig.3 Fig.4, 부추에 관한 것은 Fig.5, Fig.6에 各各 나타내었다. 시금치, 부추 모두다 破斷應力은 水分이 減少함에 따라 增大하는 傾向을 보였다. 또한 직선부분의 勾配에서 구한 절보기彈性率은 시금치의 경우, 水分의 減少에 따라 절보기彈性率 이 減少하며 그 값이 $0.7 \sim 1.8 \times 10^7 \text{ dyn/cm}^2$ 이었으나 부추에서는 逆으로 水分이 減少함에 따라 절보기 탄성율이 增加하는 傾向을 나타내었고 그 값은 $3.0 \sim 12.0 \times 10^7 \text{ dyn/cm}^2$ 를 나타내었다. 그 이유는 水分含量에 따른 收縮에 의해 細胞組織의

摩擦이 커지기 때문인 것으로 생각되어진다.

3. 彈性率·粘性率의 測定

溫度 25℃에서의 特정한 力學物性值를 시금치에 대하여는 Fig.7과 Fig.8, 부추에 대하여는 Fig.9와 Fig.10에 各各 나타내었다. 시금치와 부추 모두의 彈性率과 粘性率은 水分含量과 強한 相關關係를 나타냈으며, 시금치는 水分含量이 85~87%, 부추는 水分含量이 90% 일때를 경계로 이들 力學物性值가 顯著하게 變化했다. 그러나 부추에서는 水分含量 85% 以下에서 또다시 彈性率과 粘性率 이 커지는 것은 細胞가 膨潤하기 때

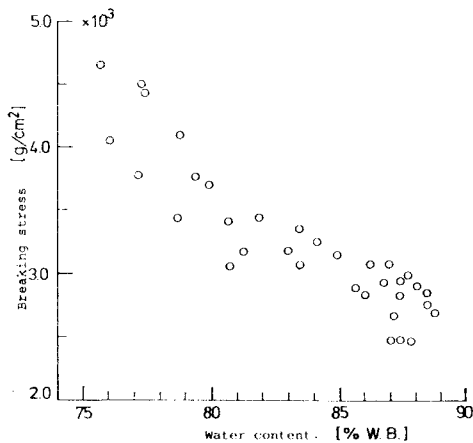


Fig. 3. Effect of water content on breaking stress of Maxwell body for the spinach.

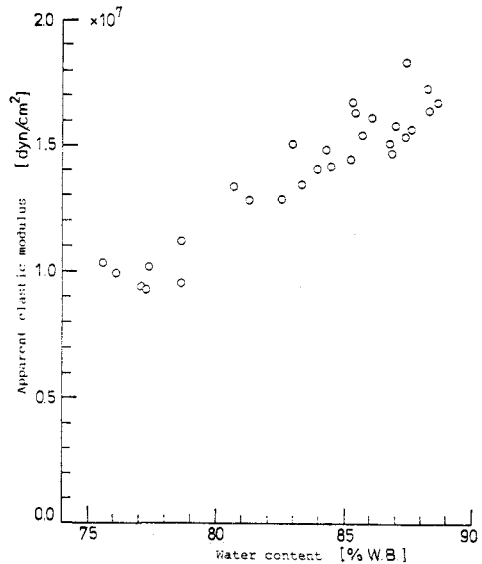


Fig. 4. Effect of water content on apparent elastic modulus of Maxwell body for the spinach.

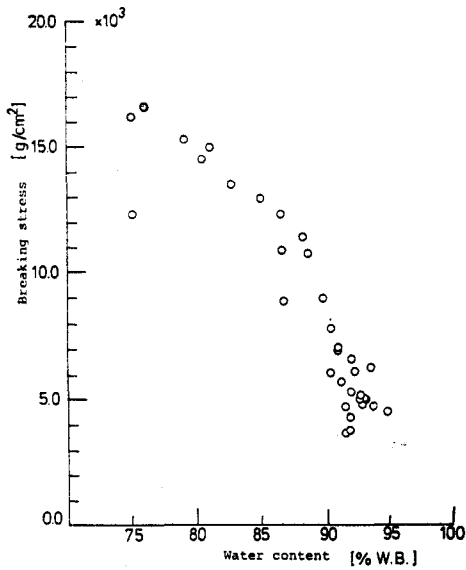


Fig. 5. Effect of water content on breaking stress of Maxwell body for the leek.

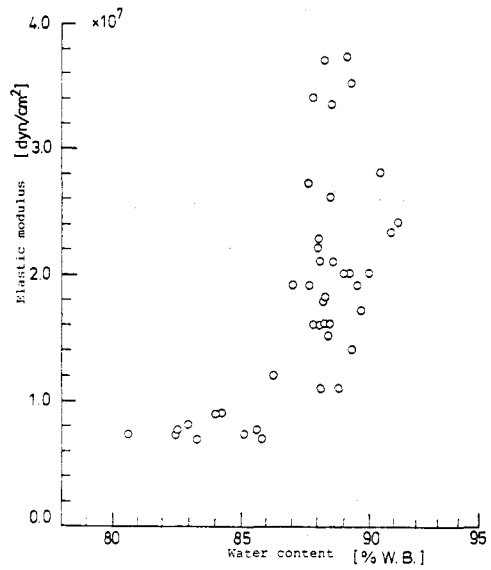


Fig. 7. Correlation between elastic modulus of Maxwell body and water content of the spinach measured at 25°C.

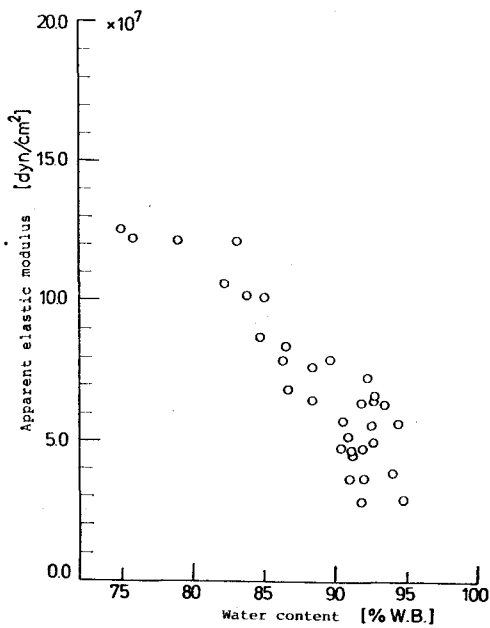


Fig. 6. Effect of water content on apparent elastic modulus of Maxwell body for the leek.

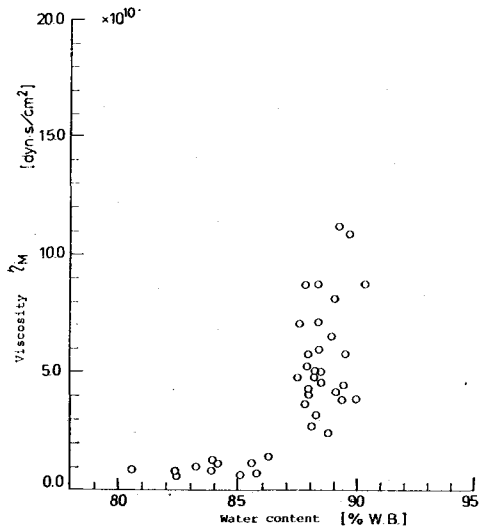


Fig. 8. Correlation between viscosity of Maxwell body and water content of the spinach measured at 25°C.

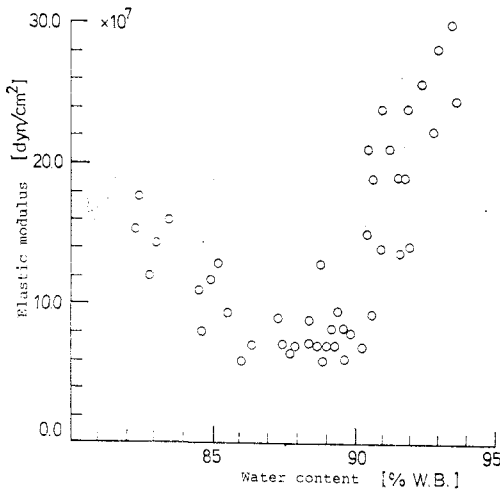


Fig. 9. Correlation between elastic modulus of Maxwell body and water content of the leek measured at 25°C.

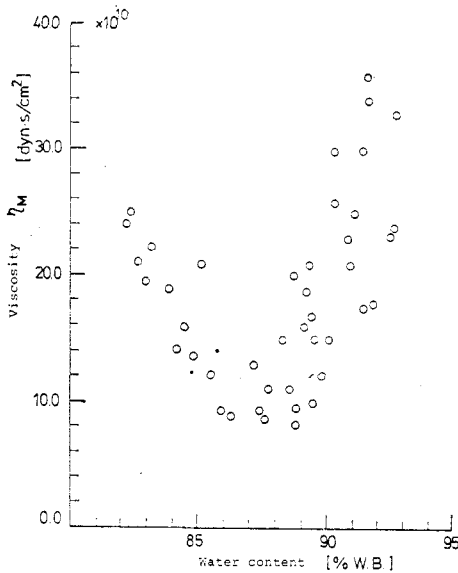


Fig. 10. Correlation between viscosity of Maxwell body and water content of the leek measured at 25°C.

문에 일어나는 것으로 생각된다. 부추의 경우 低水分含量에서도 彈性率과 粘性率이 다시 커지는 傾向을 보인 것은 收縮에 따른 細胞組織의 摩擦이 다시 커지기 때문에 일어나는 것으로 생각되어진다. 이는 Fig.6에서 보는 바와 같이 水分低

下時에 걸르기 彈性率이 增加하는 結果를 보인 것에도 그 傾向이 같다. 또한 本 研究結果에서 얻은 彈性率의 값은 Kojima et al⁷⁾의 오이, Kurota et al⁸⁾의 시금치에 대한 測定結果와 거의 一致하고 있다. 그리고 시금치와 부추에 대한 Voigt體의 彈性率과 粘性率에 대하여도 同一條件下에서 測定하였으나 Maxwell體와 類似한 結果가 나타났음을 附記해 두고 紙面관계로 省略했다.

4. 彈性率·粘性率의 溫度依存性

兩 試料의 彈性率과 溫度依存性을 測定한 結果를 시금치에 대해서는 Fig.11, 부추에 대해서는 Fig.12에 各各 나타내었다. 3°C에서 37°C의 溫度變化에도 불구하고 彈性率은 거의 變化하지 않음을 나타냈다. 이는 Maxwell體의 粘性率과 Voigt體를 適用한 彈性率과 粘性率에서도 類似한 結果를 나타냈음을 附記해 두며 紙面관계로 이들의 계재는 省略한다. 그러나 Table 2에 나타낸 바와 같이 같은 水分含量의 試料에서 3°C→37°C로 溫度를 上昇시키는 過程에서는 試片이 收縮하고, 37°C→3°C로 溫度를 降下시키는 過程에서는 試片이 伸張하였다. 그 이유는 시금치와 부추의 彈性舉動이 엔트로피(Entropy)의 彈性이기 때문인 것으로 생각되어진다.

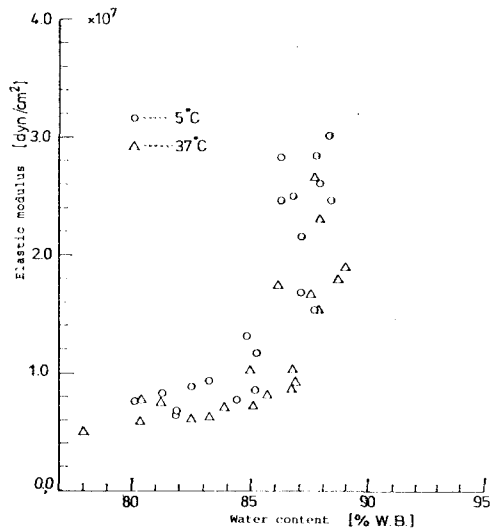


Fig. 11. Correlation between elastic modulus of Maxwell body and water content of the spinach measured at temperature both 5 and 37°C.

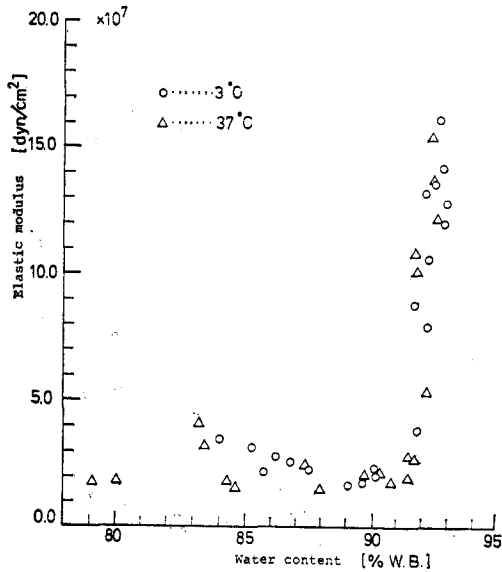


Fig. 12. Correlation between elastic modulus of Maxwell body and water content of the leek measured at temperature both 3 and 37°C.

Table 2. Effect of temperature change on contraction and extension of the spinach and leek.

	Water content [% W.B.]	3°C → 37°C Contraction [mm]	37°C → 3°C Extension [mm]
Spinach	83	0.06	0.15
	84	0.13	0.25
	87	0.15	0.25
	87	0.13	0.18
	88	0.15	0.26
	90	0.07	0.20
Leek	89	0.17	0.21
	90	0.13	0.30
	93	0.14	0.21
	90	0.17	0.29
	93	0.02	1.60
	93	0.02	0.06

Table 3. Effect of withering and reversible rehydration on viscoelastic properties change of the spinach.

	Fresh	24hr Exposing → 24hr Soaking	48hr Exposing → 24hr Soaking
Water content [% W.B.]	86	82	87
γ_M [dyn/cm ² × 10 ⁷]	20	0.85	2.2
η_M [dyn. s/cm ² × 10 ⁷]	7.4	0.83	4.2

Table 4. Effect of withering and reversible rehydration on viscoelastic properties change reversible rehydration of the leek.

	Fresh	24hr Exposing → 24hr Soaking	48hr Exposing → 24hr Soaking
Water content [% W.B.]	91	90	93
γ_M [dyn/cm ² × 10 ⁷]	1.6	0.17	1.4
η_M [dyn. s/cm ² × 10 ⁷]	24	1.6	8.8

5. 凋萎의 可逆性

시금치의 부추에 대한 實驗結果는 Table 3과 Table 4에 各各 나타냈다. 시금치의 부추의 兩者를 약 24시간 공기중에 放置한 後, 약 24시간 浸漬시킨 것은 外觀, 水分含量, 彈性率은 生鮮狀態로 原狀復元되나, 粘性率은 若干 低下했다. 그리

나 약 48時間 空氣중에 放置하였을 경우, 水分含量은 原狀態로 復元되나, 外觀上 斑点 등이 생기고, 彈性率과 粘性率도 低下하여 生鮮狀態로는 復元되지 않았다. 특히 부추의 경우는 品質의 低下가 顯著하고 腐敗臭을 내는 것도 있었다. 24時間 放置 및 48時間 放置한 시금치와 부추의 水分

含量的 變化는 Table에 나타난 걸보기밀도를 測定한 試料와 同一한 레벨의 것으로써, 이러한 觀點에서 보면 通常의 條件下에서 葉菜類의 輸送時의 許用可能한 水分減少率은 시금치와 부추 모두가 生鮮狀態時의 水分含量보다 2~3%의 減少, 걸보기밀도에서는 약 30%增加의 狀態가 限度일 것으로 생각되어진다. 이 結果는 Kurota et al⁸⁾가 시금치를 사용한 復元實驗에서 生鮮狀態의 약 20%減少의 경우에 復元이 良好했다는 結果와 거의 一致했음을 나타냈다.

要 約

본 연구에서는 葉菜類의 輸送·貯藏을 最適化하기 위한 基礎資料를 얻고자 葉菜類中에서 凋萎現象이 쉽게 일어나고 年中 栽培가 가능한 시금치와 부추를 供試하고, 自作한 Creep-tester를 사용하여 溫度 3~37℃, 濕度 70~95%의 범위에서 凋萎에 따른 物性變化를 測定한 결과 다음과 같은 結論을 얻었다.

1) 試料의 걸보기밀도는 凋萎度가 클수록 增加했으며 특히 시금치와 부추에서는 水分含量이 각각 7%, 6.5%로 減少함에 따라 걸보기밀도가 70%, 53%로 크게 增加했다.

2) 破斷應力은 兩 試料 모두 水分이 減少함에 따라 增加하는 傾向을 보였다.

3) 力學物性인 彈性率과 粘性率은 水分含量과 강한 相關關係를 나타냈다. 그러나 3℃와 37℃의 溫度變化에 따른 이들의 變化는 거의 나타나지 않았다.

4) 凋萎의 可逆性에 대한 實驗에서는 兩 試料 모두 外觀, 水分含量 및 彈性率은 原狀으로 復元되나 粘性率은 若干低下했다.

5) 試料의 溫度에 따른 伸縮性에 대하여는 同一水分含量의 試料에 있어서 溫度上昇過程(3℃→37℃)에는 收縮하고, 下降過程(37℃→3℃)에는

伸長하는 傾向을 나타냈다.

謝 辭

本 研究은 1985, 3~1986, 2(1年間) 期間의 文敎部 學術 研究 造成費에 의하여 이루어진 것이다. 紙面을 빌어 이에 謝意를 表하는 바입니다.

기 호

P_0 : Initial stress [dyn/cm²]

ϵ : Strain[-]

t : Time [s]

γ_M : Elastic modulus of Maxwell body [dyn/cm²]

η_M : Viscosity of Maxwell body [dyn.s/cm²]

γ_V : Elastic modulus of Voigt body [dyn/cm²]

η_V : Viscosity of Voigt body [dyn.s/cm²]

τ_L : Time lag [s]

參 考 文 獻

1. Mohsenin, N.N. and Göhlich, H.: *J. Agric. Eng. Res.*, **7**, 300 (1962)
2. Mohsenin, N.N., Cooper, H.E. and Turkey, L.D.: *Trans. of ASAE.* **6**, 85 (1963)
3. Morrow, C.T. and Mohsenin, N.N.: *J. Food Sci.*, **31**, 686 (1966)
4. Tahara, M. et al: *J. of Jap. Soc. Agric. Mech. Eng.*, **30**(3), 169 (1968)
5. Ishibashi, S. et al: *Ibid.*, **30**(4), 231(1969)
6. Nakaba, D. et al: *Ibid.*, **33**(3), 304(1971)
7. Kozima, T.: *Ibid.*, **36**(4), 549 (1975)
8. Kurota, A. et al: *Ibid.*, **39**(2), 199 (1977)
9. Stanley, L.M.: *Federation Proc.*, **27**(3), 879 (1968)
10. Catchpool, J.F.: *Ibid.*, **27**(3), 884 (1968)