以低溫低濕法乾燥蔬菜之研究

洪端良　歐陽孟欣　鄒篤生

亞洲蔬菜研究發展中心

摘要：本實驗乃探討低溫低濕乾燥法對乾燥甘藍菜、青江菜及菠菜品質之影響。新鮮蔬菜經殺菁、離心去水後，即行乾燥，再分析蔬菜乾燥後之品質。實驗結果顯示三種乾燥蔬菜貯存的適當水分含量爲5.51～7.96％之間。以不同乾燥條件將蔬菜乾燥至最適水分含量，低溫（45℃）乾燥三種葉菜後之品質較以高溫（90或70℃）熱風乾燥佳，唯乾燥時間較長，而以45℃低溫配合10％RH低濕法乾燥三種葉菜，其品質不但優於90℃及70℃熱風乾燥，且優於45℃低溫乾燥，質地亦仍具很好的接受性。

關鍵字：乾燥、甘藍菜、青江菜、菠菜

前　言

台灣地區蔬菜生產集中於秋冬二季，而且生產過剩；夏季則高溫多雨生產成本較高，產量不足且品質低劣。因此，利用加工品調節供需乃成爲必要之手段。唯國人對蔬菜之調理以煎炒爲主，導致目前之蔬菜加工品不易爲消費者接受(15)。

蔬菜加工品以冷凍、脫水、醃製、製罐及榨汁等方式較爲普遍，其中以冷凍及脫水蔬菜經解凍或吸水後品質較接近新鮮蔬菜，唯冷凍蔬菜貯藏成本較高，而脫水加工方式又以冷凍乾燥蔬菜品質較好，但其加工成本過高，不易爲消費者所接受(15)。一般之高溫熱風脫水蔬菜以供速食麵之調味包及速食湯爲主，並不能符合一般家庭用。

若能將乾燥溫度降低，則將大幅度提高脫水蔬菜之色澤及保留較多的養分(15)。但台灣空氣潮溼，如僅將自然空氣加溫至45℃左右，則脫水效果較差，往往需要三天才能將水份降至10％以下,在此過程中甚至可能有醱酵作用產生，而發生酸敗的情形，因此，若能將高濕度空氣予以脫濕，再用於乾燥蔬菜，將可能縮短乾燥時間，而改進以低溫熱風乾燥法之缺點。

本研究之主要目地在探討以低溫低濕乾燥法乾燥蔬菜，並與傳統高溫熱風及冷凍乾燥法比較，以改進脫水蔬菜之品質。

材料與方法

一、材料：

採用甘藍菜、青江菜及菠菜等三種不同之葉菜類爲試驗材料，分別採收於亞洲蔬菜研究發展中心之試驗田，及購買市售葉菜作爲試驗比較。

二、乾燥蔬菜之前處理：

爲了作爲家庭烹調用蔬菜，將蔬菜切成約 5cm大小，以煮沸的 0.5％食鹽水進行殺菁，殺菁時間之決定，係以過氧化酵素（Peroxidase）之活性爲指標。殺菁後之樣品以 1000 rpm離心去除部分水分，再行乾燥。

三、蔬菜之乾燥：

㈠低溫低濕乾燥　將傳統式的烘箱連接一部除濕機，除濕機之除濕系統主要是除濕輪，除濕輪係以固體除濕劑—矽膠(silica gel)固定於不織布上，並捲成圓盤狀，即成除濕輪[1]。當高濕度空氣通過除濕輪時，矽膠吸附空氣中之水分而成低濕之空氣，進入烘箱乾燥樣品，乾燥蔬菜後之高濕度空氣再進入除濕輪除濕。而含飽和水分之除濕輪，則以加熱的方式再生，除濕輪不斷的旋轉進行除濕及再生，而達到除濕的效果。乾燥時保持風速約 5m/sec 。

㈡高溫熱風乾燥　以傳統熱風乾燥機由Winston公司製造，熱風乾燥溫度爲90℃及70℃，乾燥時保持風速約 5m/sec，每批樣品固定 2kg。

㈢冷凍乾燥　將已經過前處理之蔬菜急速冷凍，再將冷凍蔬菜置入冷凍乾燥機（ VirTis: Model Freezemobile 12 ）乾燥，乾燥時眞空壓力在10 Millitorr以下，冷凝的溫度維持在-60℃。

四、乾燥蔬菜之品質及理化性質分析：

㈠水分含量與水活性　脫水蔬菜水分含量之測定依照AOAC（ Association of Official Analytical Chemists ），所得結果以%表示（乾重爲基準)[6]。水活性的測定，則使用水活性測定儀（ Rotronic Hygroskop BT ），測定溫度爲25℃。

㈡脫水蔬菜之等溫吸濕試驗　取脫水甘藍菜、青江菜及菠菜各約2.5g，置於秤量瓶中，分別放入含不同飽和鹽類之乾燥器內，再予以密閉，使呈不同相對濕度，將乾燥器置入25℃恆溫箱中保溫[5]。各飽和鹽類於25℃之相對濕度（ %RH ）分別爲Sodium hydroxide（ 8.2%），Lithium chloride (11.3%)，Magnesium chloride（ 33.0%），Magnesium nitrate(52.9%)，Sodium chloride (75.5%)，Potassium chloride(84.5%)，Potassium sulfate（ 97.3%)[16]，三星期後取出測定水分含量，以水活性（ Aw ）及水分含量劃出等溫吸濕曲線（ Sorption isotherm)[5]，及計算出乾燥蔬菜之單分子水層(Monomolecular layer of water)及最適乾燥水分含量(Optimum moisture content ）。

採用BET方程式（ Brunauer-Emmett-Teller equation ）以求取三種蔬菜之單分子水層及最適乾燥水分含量[11]。BET方程式適用之水活性範圍爲 0.4以下[3]，方程式如下所示：

$$\frac{Aw}{X(1-Aw)} = \frac{1}{XmC} + \frac{C-1}{XmC} Aw$$

Aw = 水活性

X = 含水率(乾物基準)

Xm = 單層水分含量(乾物基準)

C = 常數

以Aw/X(1-Aw) - Aw作圖並可得一直線迴歸方程式，由此方程式之斜率及截距可求得單層水分含量（ Xm)[13]。

㈢復水比之測定　將脫水蔬菜置入剛沸騰的水中，浸泡3分鐘，於濾網上滴乾1分鐘稱重。復水比表示法如下[12]：

$$\text{復水比} = \frac{\text{乾燥蔬菜復水後之重量}}{\text{乾燥蔬菜復水前之重量}}$$

㈣褐變程度分析　係採用Hendel et al（ 1955)[14]方法，以水抽取褐變物質，於420 nm下讀取吸光值。以吸光值大小表示褐變之程度。

㈤葉綠素含量之分析　以85%丙酮抽取，再以乙醚置換丙酮，於波長660nm及642.5nm下讀取吸光值。再換算成葉綠素含量[6]。

㈥維生素C之分析　以偏磷酸醋酸(Metaphosphoric acid)萃取，再以 2,4-dinitrophenyl hydrazine 呈色，於 520nm下讀取吸光值[6]。

㈦脆度之測定　乾燥蔬菜復水後以流變儀（Rheometer，Fudo NRM-2010J-CW）配合繪圖儀，並以刀片狀的probe及10kg之偵測器，以剪力(shear)試驗評估質地。蔬菜脆度以 shear strength(g/cm^2)表示，值愈小者表示脆度愈大。

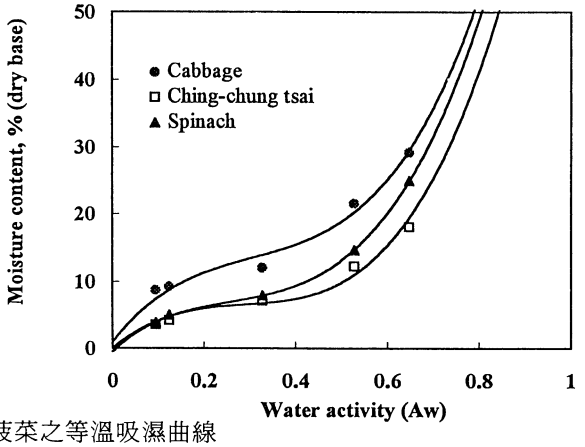
五、官能品評：

採用九分制嗜好性評分法（Hedonic scale），一分爲非常不喜歡，九分爲非常喜歡，品評人員爲十名，以變異數分析法解析品評數據[4]。

結　果

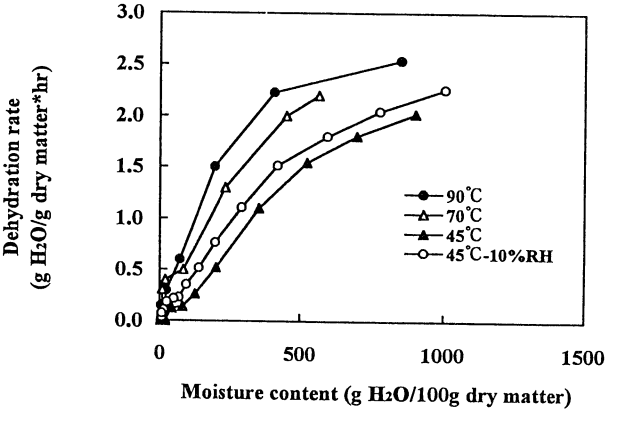
一、三種乾燥葉菜之等溫吸濕曲線：

脫水甘藍菜、青江菜及菠菜之等溫吸濕曲線如圖一所示，將不同相對濕度下的水分含量值根據BET方程式予以推算，可以求得單分子層（Monolayer）的水分含量分別爲7.96％、6.10％、5.51％，且三種蔬菜之等溫吸濕曲線形狀極爲相似。



圖一、乾燥甘藍菜、青江菜及菠菜之等溫吸濕曲線

Figure 1. Moisture adsorption isotherms of cabbage, ching-chung tsai and spinach



圖二、不同乾燥溫度下整葉甘藍菜之乾燥速率曲線

Figure 2. The dehydration rate of cabbage with intact leaves under various dehydration temperatures.

二、甘藍菜於不同乾燥條件下之乾燥速率：

甘藍菜以90℃，70℃，45℃，45℃-10％RH條件乾燥之乾燥速率曲線如圖二，90℃之乾燥速率最大，70℃次之，45℃最小，而45℃配合10％RH之乾燥速率顯著的大於45℃，但仍低於70℃熱風乾燥。

三、不同乾燥條件下三種乾燥葉菜之品質：

以不同的乾燥條件90℃、70℃、45℃、45℃-10％RH及冷凍乾燥等分別乾燥甘藍菜、青江菜及菠菜三種葉菜類結果如表一。乾燥甘藍菜之褐變程度，以90℃乾燥者最大，乾燥溫度愈低，褐變程度愈小，以45℃配合10％RH乾燥者之褐變程度小於僅以45℃乾燥者。乾燥甘藍菜之維生素C含量及復水率是以45℃-10％RH乾燥者含量最高，而以90℃高溫乾燥者低。乾燥甘藍菜復水之質地，以高溫90℃乾燥者之脆度較小，乾燥溫度降低，質地較脆，以45℃-10％RH乾燥者脆度最佳。

乾燥青江菜及菠菜之葉綠素含量，以45℃-10％RH最高，45℃乾燥者次之，90℃乾燥最低，維生素C含量及復水比均以45℃-10％RH最高，90℃乾燥者最低。質地方面，乾燥溫度愈高者脆度愈小。

低溫低濕乾燥與冷凍乾燥比較，除了低溫低濕乾燥蔬菜之脆度較冷凍乾燥佳之外，其餘冷凍乾燥之蔬菜品質較低溫低濕45℃-10％RH乾燥者佳。

四、官能品評：

以不同乾燥條件乾燥甘藍菜、青江菜及菠菜之官能品評結果如表二，90℃及70℃乾燥之三種葉菜於色澤、外觀及脆度之接受性較45℃乾燥差，而45℃-10％RH乾燥之葉菜又較45℃佳。而冷凍乾燥蔬菜色澤及外觀之接受性較90℃、70℃、45℃及45℃-10％RH蔬菜佳，脆度較其他熱風乾燥條件差。

表一、不同乾燥條件之乾燥蔬菜之品質

Table 1. Qualities of dehydrated vegetables at various dehydration condition.

Vegetables	Condition of dehydration	Degree of Browning ($OD_{420/g}$)	Chlorophyll (mg/100g)	Vitamin C content (mg/100g)	Rehydration ratio	Shear strength (g/cm^2)
Cabbage	90℃	0.210	-	20.2	5.38	2365
	70℃	0.186	-	71.4	6.00	2350
	45℃	0.050	-	78.7	6.04	1280
	45℃-10%RH	0.041	-	102.3	6.04	1200
	Freeze drying	0.021	-	211.6	6.17	1200
Ching-chung tsai	90℃	-	142.3	8.7	4.72	1610
	70℃	-	158.1	10.8	5.12	1600
	45℃	-	163.5	20.3	5.30	1500
	45℃-10%RH	-	184.9	21.2	5.35	1400
	Freeze drying	-	188.0	47.8	6.01	1550
Spinach	90℃	-	285.2	15.3	5.03	650
	70℃	-	303.0	18.7	5.12	600
	45℃	-	331.4	20.5	5.26	450
	45℃-10%RH	-	365.0	21.0	5.28	430
	Freeze drying	-	384.7	39.8	6.00	500

Air velocity：5m/sec

表二、三種葉菜於不同條件下乾燥之品評分數表
Table 2. Sensory scores of dehydrated leaft vegetable at different dehydration condition.

Vegetables	Dehydration condition	Dehydrated		Rehydrated			Overall acceptability
		Appearance	Color	Appearance	Color	Texture	
Cabbage	90℃	4.0^{c}	4.0^{c}	5.0^{b}	4.5^{b}	4.5^{b}	4.5^{c}
	70℃	4.5^{bc}	4.0^{c}	5.0^{b}	4.5^{b}	5.0^{b}	4.5^{c}
	45℃	5.0^{b}	5.0^{b}	6.0^{a}	5.0^{b}	6.5^{a}	5.0^{bc}
	45℃-10%RH	5.0^{b}	5.5^{b}	6.0^{a}	5.0^{b}	6.5^{a}	5.5^{ab}
	Freeze drying	7.0^{a}	7.0^{a}	6.5^{a}	6.0^{a}	3.0^{c}	6.0^{a}
Ching-chung Tsai	90℃	4.0^{d}	4.5^{b}	6.0^{b}	4.5^{b}	3.5^{b}	4.0^{c}
	70℃	5.5^{c}	4.5^{b}	6.0^{b}	4.5^{b}	4.0^{ab}	4.0^{c}
	45℃	6.0^{c}	5.0^{b}	6.0^{b}	5.0^{ab}	4.0^{ab}	4.5^{bc}
	45℃-10%RH	7.0^{b}	5.0^{b}	6.5^{b}	5.0^{ab}	4.5^{a}	5.0^{ab}
	Freeze drying	8.0^{a}	7.0^{a}	8.5^{a}	5.5^{a}	3.5^{a}	5.5^{a}
Spinach	90℃	3.0^{d}	5.0^{b}	6.0^{b}	4.0^{b}	6.5^{a}	5.0^{b}
	70℃	5.0^{c}	5.0^{b}	6.0^{b}	4.0^{b}	6.5^{a}	5.0^{b}
	45℃	5.5^{bc}	5.0^{b}	6.0^{b}	4.5^{b}	6.5^{a}	5.0^{b}
	45℃-10%RH	6.0^{ab}	5.0^{b}	6.5^{b}	6.0^{a}	7.0^{a}	5.5^{ab}
	Freeze drying	6.5^{a}	6.0^{a}	8.5^{a}	6.0^{a}	6.5^{a}	6.0^{a}

n＝10

討　論

一、脫水蔬菜之等溫吸濕曲線：

脫水蔬菜貯存時若沒有密封，會因外界濕度過高而吸收空氣中之水分，直到平衡爲止。脫水蔬菜吸水過程中，水分含量增加，水活性提高，產品褐變、軟化及受微生物的污染，終造成脫水蔬菜品質的降低[3]。因此測定脫水蔬菜的等溫吸濕曲線，可決定乾燥終點之水分含量，而達到長時間貯存，品質不會劣變之參考。由於甘藍菜、青江菜及菠菜三者葉的厚度、形狀及大小均不相同，所以三種葉菜之最適的乾燥水分含量也不相同。因此，不同的蔬菜必須經過試驗後方可決定最適乾燥水分含量。

根據BET吸附理論指出，水分含量在單分子層之吸附量時，其水分子和食品表面上之官能基充分結合而形成保護層，使產品可作用的活性部位完全被佔據，以防止食品受到空氣中氧的作用而產生氧化及褪色[11][18]。食品的成分與水適當結合，可防止氧化、色素褪色、維生素分解，因此乾燥蔬菜之最終水分含量對氧化的發生有很大影響[2][18]。而依乾燥理論，乾燥食品的水分含量在單分子層時，品質較穩定[3]，試驗結果顯示三種脫水蔬菜若水分維持在5.51～7.96%間對於蔬菜品質之維持較好。乾燥蔬菜之水活性亦影響貯藏時之安全性，乾燥蔬菜之水活性低於0.30，微生物即無法生長[2]，試驗結果顯示，三種蔬菜於最適水分含量時，其水活性均低於0.30，因此具貯藏安全性。此外，乾燥蔬菜之包裝也直接影響其品質，除密閉性外，也應避免貯

存於濕度過高之環境致使產品劣變。

二、不同乾燥條件對蔬菜乾燥速率之影響：

高溫乾燥蔬菜之乾燥速率較低溫乾燥大，而45℃熱風乾燥速率小，乾燥時間較長，以45℃配合10％RH之熱風乾燥，其乾燥速率顯著地增加，雖然45℃-10％RH之乾燥速率仍低於90及70℃。若欲改進脫水蔬菜之品質及其乾燥速率，可採用二段式溫度乾燥，即乾燥初期以高溫乾燥，後期則以低溫低濕乾燥，如此仍能維持脫水蔬菜之品質。

三、不同乾燥條件對乾燥蔬菜品質之影響：

甘藍菜、青江菜及菠菜於高溫（90℃及70℃）條件下乾燥，蔬菜之品質明顯的降低。乾燥初期爲恆率期（constant rate period），蔬菜之水分含量高，其表面水分蒸發速率快,可維持一定的品溫，因此，蔬菜的品質幾乎沒有劣變。恆率期過後，由於表面含水率減少，且靠蔬菜內部水分的移動，因此，水分的蒸發速率減慢，致品溫逐漸上昇，此時蔬菜的品質急速的劣變，此時期爲減率期（falling rate period)[8]。全程乾燥皆採高溫則葉菜的品質較差。以低溫45℃乾燥，三種葉菜之品質均優於高溫乾燥，因此，低溫乾燥的確可提高脫水蔬菜之品質。

然而，以45℃低溫乾燥蔬菜所耗費的時間較長，因此以低溫低濕乾燥可縮短乾燥時間，且由於乾燥時間較短，品質劣變的程度也較小，所以低溫低濕乾燥法可有效的改進蔬菜之品質。與冷凍乾燥相比較，低溫低濕法之乾燥蔬菜品質略低於冷凍乾燥，而優於高溫熱風乾燥。因此，低溫低濕乾燥蔬菜之品質是介於熱風乾燥與冷凍乾燥之間。

四、官能品評：

葉菜於45℃低溫下乾燥，色澤及維生素C的劣變程度較小，45℃配合10％RH之乾燥條件，縮短了蔬菜之乾燥時間，也減緩了色澤及維生素C之劣變，並且有很好的復水後之質地，因此接受性佳。冷凍乾燥蔬菜乾燥後，体積不變，且於低溫下水分直接昇華，因此，冷凍乾燥蔬菜之外觀品質接受性優於所有熱風乾燥，包括低溫低濕乾燥蔬菜，但是冷凍乾燥後之蔬菜具多孔狀[3]，當復水後，質地變軟，因此蔬菜質地之接受性不如45℃及45℃-10％RH乾燥蔬菜。脫水蔬菜除了色澤及外觀外，脆度是葉菜之一項重要的品質，因此，若是以家庭用蔬菜產品，仍以熱風乾燥45℃-10％RH之乾燥條件較佳。

結　論

以45℃-10％RH低溫低濕法乾燥不但可改進目前高溫熱風乾燥法之缺點，而且以低溫低濕法乾燥之蔬菜其復水後之質地亦優於冷凍乾燥蔬菜，唯乾燥速率不如高溫乾燥。因此，於乾燥恆率期時以高溫乾燥，減率期時則以低溫低濕法乾燥，可能有效的改進乾燥速率。

謝　誌

本研究承行政院農業委員會經費補助（計劃編號：84—食品會報—05(1)），謹此致謝。

參考文獻

1. 工業技術研究院能源與資源研究所。1991。固體除濕輪（Desiccant dehumidifier rotor）。台北市經濟部能源委員會: pp.28 能源研究發展基金研究成果，冷凍空調技術專輯。
2. 橫關源延。1974。微生物的水分活性。日本，食品的容器14(10):460-466。
3. 金安兒、郁凱衡。1983。冷凍乾燥胡蘿蔔之最適操作條件。食品科學20(1):21-32。

4. 彭秋妹、王家仁。1984。食品官能檢查手冊。食品工業發展研究所。
5. 楊勝欽、陳建斌。1993。微波眞空乾燥的條件對脫水魚板片品質的影響。食品科學20(4): 356-367。
6. AOAC. 1984. "Official Methods of Analysis", Association of Official Analytical Chemists, Washington, D. C., USA.
7. Badifu, G. i. 1991. Effect of long-term storage of processed Nigeria-grown edible leafy green vegetables on vitamin C content. J. Agri. Food Chem. 39: 538-541.
8. Brennan, J. G., J. R. Butters, N. D. Cowell and A. E. V. Lilly. 1976. Dehydration. p. 313-359. Applied Science Publishers LTD Ripple Road, Barking, Essex, England.
9. Chen, P. and D. C.T Pei. 1989. A mathematical model of drying processes. Int. J. Heat Mass Transfer. 32(2): 297-310.
10. Handel, C. E., V. G. Silveira and W. O. Harrington. 1955. Rates of nonenzymatic browning of white potato during dehydration. Food Technol. 9: 433-438.
11. Harold, S. 1959. Defining minimum moisture contents for dehydrated foods. Food Technol. 13: 594
12. Horn, G. R. and C. Sterling. 1982. Studies on the rehydration of carrots. J. Sci. Food Agric. 33: 1035-1041.
13. King, V. A., R. R. Zall and D. C. Ludington. 1989. Controlled low-temperature vacuum dehydration-a new approach for low-temperature and low-pressure food drying. J. Food Science. 54(6): 1573-1593.
14. Lee, D. S., S. K. Chung, H. K. Kim and K. L. Yam. 1991. Nonenzymatic browning in dried red pepper products. J. Food Quality 14: 153-163
15. Luh, B. S., L. P. Somogyi and J. J. Meehan. 1975. Vegetable dehydration. Commercial Vegetable Processing. Ed. by B. S. Luh and J. G. Woodroof. p.361-415. Avi Publishing Company, INC.,Westport, Conn.
16. Rockland, L. B. 1960. Saturated Salt Solutions for static control of celative humidity between 5° and 40℃. Anal. Chem. 32: 1375.
17. Rockland, L. B. and S. K. Nishi. 1980. Influence of water activity on food product quality and stability. Food Technology april: 42-59.
18. Salwin, H. and V. Slawson. 1959. Moisture transfer in combinations of dehydrated foods. Food Technol. 16: 715.
19. Salwin, 1962. The role of moisture in deteriorative reactions of dehydrated foods. In "Freeze-drying of Foods". P. 58-74. National Academy of Science National Research council, Washington, D. C.
20. Salwin, H. 1963. Moisture levels required for stability in dehydrated food. Food Technology 17: 1114.

Studies on Dehydrated Vegetables by Low temperature and Low Humidity

Tuan-liang Hong, Mong-hsin Ouyang, Samson Chimson Chi
Asian Vegetable Research and Development Center
Tainan, Taiwan, R.O.C

Abstract

An investigation of the effect of low temperature and low humidity drying on the quality of three leafy vegetables (cabbage, chin-chung pai tsai and spinach) was conducted. Fresh leafy vegetables were blanched, dewater, and then dehydrated. The dehydrated vegetables were analyzed for quality evaluation. The optimum moisture content for the storage of these three leafy vegetables ranged from 5.51% to 7.96%. Vegetables dehydrated at low temperature (45℃) showed better quality compared with those dehydrated at high temperature (90℃ or 70℃). However, the rate of vegetable dehydration at 45℃ was low. Qualities and dehydration rate of vegetables dehydrated at 45℃ with 10%RH are higher than those dehydrated at 45℃ alone, 70℃ and 90℃. Furthermore, the vegetables dehydrated at low temperature and low humidity (45℃, 10%RH), were rehydrated for the panel test. They demonstrated acceptable texture.

Key words: dehydration, cabbage, chin-chung tsai, spinach