ホウレンソウ貯蔵中における呼吸量, 糖含量の変化と 外観の劣化との関係

日 坂 弘 行*

A Relation of Change in Appearance to Changes in Sugar Content and Respiration Rate in Spinach during Storage

Hiroyuki HISAKA

Chiba-ken Agricultural Experiment Station, 808,
Daizenno-cho, Chiba, 280-02

Spinach (*Spinacia oleracea* L. cv. Read) leaves cultivated at open-field and a green house were stored at 0°, 10°, 20° and 30°C in the dark. The changes in respiration rate, sugar contents and appearance during storage at various temperatures were compared. (1) The sugar content of open-field grown spinach was two times higher than that of green house grown spinach. The sugar content of spinach petiole was four times higher than that of spinach leaf blade. (2) The respiration rates of open-field grown spinach were 630 (CO₂mg/kg · h), 280, 123 and 42 mg when stored at 0°, 10°, 20° and 30°C in the dark, respectively. The respiration rates of green house grown spinach were 343 (CO₂mg/kg · h), 163, 68 and 26 mg, respectively. The respiration rate of open-field grown spinach was 1.6~1.8 times higher than that of green house grown spinach. (3) The sugar content of spinach decreased with increasing storage temperature. Decrease of sugar contents in outer leaves during storage was distinctly faster than that in inner leaves. (4) When spinach leaves were not yellowing, the ratio of measured sugar decrease to estimated sugar decrease from respiration was about 0.9, however, it decreased about 0.4 when spinach leaves were yellowing. (5) Yellowing of spinach leaves started when the sugar contents of the outer leaves dropped to 0.06~0.05 (g/100 g f.w.). The yellowing decreased the quality of bundled spinach. (6) The sugar content of open-field grown spinach was higher than that of green house grown spinach. Respiration rate of spinach leaves cultivated at open-field were also higher than that cultivated at the green house. There was little difference in shelf life between open-field grown and green house grown spinach leaves. (Received Nov. 14, 1988)

青果物の鮮度保持に関する研究¹⁾は古くから行われている。それらのデータによるとホウレンソウの貯蔵可能日数は、0°C 湿度 90~95% で貯蔵した場合は、10~14 日²⁾, 21~28 日³⁾となっており、ポリエチレン包装した貯蔵⁴⁾でも、1°C で 10 日、2°C で 18~30 日と研究者によって大きな開きがある。栽培時期が異なるホウレンソウでは、葉中に含まれる糖含量が大きく違い、その糖含量の差がひいては、鮮度にも影響を及ぼすという木下⁵⁾

の報告や、キャベツやレタスで、糖含量の多い品種の方が貯蔵性が良いという矢野ら⁶⁾の報告から判断すると、この貯蔵性の差は糖含量の違いから生じている可能性がある。しかし、ホウレンソウの貯蔵性を糖含量などの生体成分との関連で検討した例はない。

一方、ホウレンソウなどの葉菜類の貯蔵温度と品質劣化について、緒方ら⁷⁾は、ホウレンソウの貯蔵温度と、品質保持期間や成分についての関係を調べており、冷蔵

* 千葉県農業試験場 (〒280-02 千葉県千葉市大膳野町 808)

の遅れによって商品性保持期間はかなり短縮され、冷蔵の中断による急激な鮮度低下と成分の減少を報告している。細田ら⁸⁾⁹⁾は、コマツナの貯蔵中の成分変化について観察し、貯蔵温度が高いほど外観の劣化も早く、遊離糖や還元型アスコルビン酸の含量の減少も早いと報告している。さらに平野ら¹⁰⁾は、ハウレンソウを各種温度下で貯蔵した場合の呼吸活性や葉色、クロロフィルや還元型アスコルビン酸含量と外観評価の変化を観察し、貯蔵温度別の日持ち性を報告している。しかし、これら研究では品質劣化について、外観の劣化、体内成分の変化を別々に測定しているにすぎず、それらの要因間の相互関係を詳しく検討した例はない。

そこで本研究では、冬期の露地とハウス栽培の2種類のハウレンソウを用いて、貯蔵中の呼吸量と全糖含量の減少の関係を部位別、貯蔵温度別に詳細に調べ、この両者と外観の劣化との関係について検討した。

材料及び方法

材料のハウレンソウ (*Spinacea oleracea* L. 品種：リード) は、千葉市で栽培したもので、露地栽培品は、11月10日に播種、1月26日に収穫し、ハウス栽培品は、11月20日に播種、2月23日に収穫し試験に供した。それぞれのハウレンソウは収穫した翌日、調製結束し直ちに、0, 10, 20, 30℃ 暗黒下に縦に静置し、乾燥を防ぐため濡れ新聞で囲み、穴の開いたポリシートで軽く包んで貯蔵した。

呼吸量は、容量約 14 l のデシケーターにハウレンソウ 3 束 (約 900 g) を縦に入れ、各温度での炭酸ガス放

出量に応じて 3~8 時間暗黒下に放置して、容器内の炭酸ガス増加量をガスクロマトグラフィー (日立製作所製 063 型, TCD 検出器) で測定し、CO₂ mg/kg・h としで表示した。

糖含量の測定では、まず、ハウレンソウを外側 1, 2 枚目の葉 (収穫調製後の外葉なので、実際は本葉第 3, 4 葉程度に相当すると思われる) と、他の展開葉 (通常 4~6 枚)、そして未展開葉の芯に分け、さらに展開葉は葉身と葉柄に分け、外葉身、外葉柄、内葉身、内葉柄、芯の 5 つの部位に分けた。その 5 部位それぞれ 10 個体 3 反復で分析した。糖含量はハウレンソウ各部位を 80% 熱アルコール抽出後、高速液体クロマトグラフィー (ポンプ：島津製作所製 LC-5 A 型 カラム：SCR 101 検出器：エルマ光学株式会社製 示差屈折計 ERC 7510 型) で測定して、しょ糖、ブドウ糖、果糖に分別定量し、その合計を全糖含量とした。

外観は、5 段階で評価し、4: (収穫時と変わらない) 3: (収穫時より劣るが出荷できる、葉の黄化は認められない) 2: (さらに劣るが小売できる、黄化は僅かに認められる) 1: (食べられる、黄化ははっきりと認められる) 0: (食べられない、激しく黄化している) とした。

結果および考察

1. 貯蔵開始時の全糖含量

全糖含量は、ハウレンソウの各部位により含有量が極端に異なることから部位別に測定した。貯蔵開始時の、部位別の重量とその糖含量を Table 1 に示す。各部位別の糖含量にそれぞれの重量を乗じ、その合計を総重量

Table 1 Total sugar content and part weight at various parts of spinach leaves

Cultivated at		Outer unfold leaf ^{a)}		Inner unfold leaf ^{b)}		Leaflet+stem	Total Average ^{c)} weight
		Leaf blade	Petiole	Leaf blade	Petiole		
Open-feild	Suger content ^{d)}	0.58	2.79	1.06	3.69	2.01	1.97
	Part weight ^{e)}	35	26	50	42	16	169
Green house	Suger content ^{d)}	0.17	0.81	0.43	1.82	0.94	0.99
	Part weight ^{e)}	31	23	92	97	13	256

^{a)} Outer two leaves after trimming for packing

^{b)} The other unfold leaves after removing the outer two leaves

^{c)} Average = $\frac{\sum(\text{suger content of part} \times \text{part weight})}{\text{total weight}}$

^{d)} g/100 g f.w.

^{e)} Total fresh weight of ten plants (g)

Spinach leaves cultivated at open-feild and at the green house were harvested on 26th Jan. and on 23th Feb. respectively.

で割って求めた加重平均で示すと、露地栽培品が 1.97 g/100 g 新鮮重、ハウス栽培品が 0.99 g/100 g 新鮮重と露地栽培品の方が約 2 倍の糖含量であった。部位別では、露地栽培の場合外葉身の 0.58 g/100 g 新鮮重に対し、内葉身は 1.06 g/100 g 新鮮重と内葉で多く、また外葉、内葉とも葉身部よりも葉柄部分が約 4 倍も含量が多かった。これらの傾向はハウス栽培品でも同様であった。

糖の組成については、露地栽培品の場合株全体ではしょ糖の比率が全体の 56% と多く、ブドウ糖と果糖が 22% ずつであった。部位別にみると、しょ糖の比率が外葉身で 82%，内葉身で 75% と葉身部で高く、外葉柄で 51%，内葉柄で 46% と葉柄部でやや低かった (Fig. 1)。一方ハウス栽培品では、株全体ではブドウ糖の比率が全体の 41% と最も多く、しょ糖は 30%，果糖が 29% であった。部位別では、外葉身ではしょ糖が 65% で一番多く、内葉身でもしょ糖が 45% と一番多かった。外葉柄もしょ糖が 41% と一番多いものの、内葉柄ではブドウ糖が 45% と一番多く、しょ糖は 24% と低かった。

2. 貯蔵中の呼吸量変化

露地栽培品の呼吸量は、各温度区で貯蔵を開始後、数時間後の測定では、30℃ で 630 CO₂mg/kg・h、20℃ で、280 mg、10℃ で 123 mg、0℃ で 42 mg であった。一方ハウス栽培品では、各々 343 CO₂mg/kg・h、163 mg、68 mg、26 mg で、両栽培区とも貯蔵温度が高くなると呼吸量は大きく増加した (Fig. 2)。露地栽培品

の呼吸量の温度係数 (Q_{10}) は、0℃ から 10℃ で 2.93、10℃ から 20℃ で 2.28、20℃ から 30℃ で 2.25 と計算され、同様にハウス栽培品は、それぞれ 2.62、2.40、2.10 となった。両栽培区の呼吸量を同じ貯蔵温度と比較すると、露地栽培品の方が、ハウス栽培品より 7~8 割も多かった。このように栽培環境が収穫後の呼吸量に著しい影響を及ぼすことは今まで報告されていないが、鮮度保持の観点から極めて興味深い。

呼吸量は各温度で貯蔵中に著しく減少した。しかし、腐敗が発生した 30℃ 区 3 日後では明らかに増加し、20℃ や 10℃ でも腐敗の発生とともにやや増加する傾向がみられた。腐敗の見られなかった 0℃ 貯蔵では、21 日後まで低下が続き、露地及びハウス栽培品の呼吸量は、それぞれ、8.2 CO₂mg/kg・h、5.8 mg と貯蔵開始時の約 1/4 程度になった。

3. 貯蔵中の糖含量変化

貯蔵中の全糖含量は日数の経過と共に減少したが、減少速度は、貯蔵温度によって著しく異なった (Fig. 3)。例えば露地栽培品の貯蔵 4 日後では、20℃ 区で 44% 減少したのに対し、0℃ 区では 9% しか減少せず、貯蔵温度が高いほど減少は早く、低いほど遅かった。また糖含量の減少程度には、部位による差も著しく認められた。例えば、露地栽培品 30℃ 区では、外葉柄の糖含量は 3 日後に 2.79 g/100 g 新鮮重から 0.40 g と 86% も減少しているのに対し、芯部では 2.01 g から 1.85 g までと 8% 減少したに過ぎなかった (Fig. 1, 4)。この傾向

Fig. 1 Sugar contents at various parts of spinach leaves

□ : Sucrose ▨ : Glucose ▩ : Fructose

Fig. 2 Changes in respiration rate during storage of spinach leaves cultivated at open-field and at the green house

Fig. 3 Changes in the sugar content during storage of spinach leaves cultivated at open-field and at the green house

は減少の少ない 0℃ 貯蔵でもみられ、全体では 12% しか減少していない 10 日後に (Fig. 3), 外葉身部に限ると 48% も減少した (Fig. 5)。この様な外葉身の糖含量の減少が芯部や内葉身よりも著しく早い傾向は、ハウス栽培品でも同様であった。また糖は絶対量だけでなく、その組成も貯蔵中に著しく変化した。組成比の変化を絶対量の変化が少なく貯蔵期間の長い、露地栽培品の 0℃ 21 日後を例に示す (Fig. 4) と、しょ糖の割合が貯蔵開始時の 56% から 33% と減少し、果糖が 22% から 38% と増加した。この変化は部位別でも見られ、この時の外葉身のしょ糖の比率は、開始時の 82% から 29% と

減少し、果糖が 12% から 50% へと増加した。しかし、同時期でも芯部の糖組成は変化が少なく、開始時のしょ糖 65%, ブドウ糖 19%, 果糖 16% から、それぞれ 52%, 27%, 22% に変化しに過ぎなかった。

以上の結果から、ハウレンソウの収穫後における糖の減少は、部位別では外葉ほど、種類別ではしょ糖ほど早いことが明らかになった。しかし、そのメカニズムは不明であり今後の検討が必要である。

4. 貯蔵中の累積呼吸量と全糖含量の関係

ホンレンソウの呼吸量と品質低下の関係を明らかにするため、累積呼吸量を算出した。この累積呼吸量は、呼

Fig. 4 Sugar contents at various parts of open-field grown spinach after storage

□ : Sucrose ▨ : Glucose ▩ : Fructose

Fig. 5 Changes in the sugar content of outer leaf blade during storage of spinach leaves cultivated at open-field and at the green house

● : Not yellowing ○ : Yellowing

吸量が測定日と測定日の間を Fig. 2 のように直線的に変化したと仮定して求めた。

30°C, 20°C での累積呼吸量は著しく大きく、露地栽培品ではそれぞれ 3 日, 7 日後までに 30 CO₂ g/kg 新鮮重程度まで達した。一方低温、特に 0°C で貯蔵された場合には累積呼吸量は少なく、貯蔵 21 日後でも 6.4 CO₂ g/kg 新鮮重と 30°C 貯蔵の半日分程度であった。この傾向はハウス栽培品でもほぼ同様であった。

呼吸によって放出された CO₂ がすべて糖に由来すると仮定し、 $C_6H_{12}O_6 + 6 O_2 \rightarrow 6 CO_2 + 6 H_2O$ の式を用い

て、累積呼吸量に対応する糖の量を算出した。露地栽培品について、累積呼吸量からの計算される糖減少量を各測定日に実際に測定した全糖含量から算出した減少量と比較した (Fig. 6)。貯蔵初期の黄化の発生していない時期では、呼吸量に相当する糖の減少量の計算値とその実測値との間ではほぼ一定の関係がみられ、計算値は実測値の変化と良く一致した。つまり、傾きは 0.90 で呼吸で放出された炭酸ガスの大部分 (90%) は糖に由来したと考えられる。残りの 10% は、今回測定していないデンプンや有機酸等の減少で説明できるかも知れない。一

Fig. 6 Relationship between measured decrease of sugar contents and calculated sugar decrease from cumulative CO_2 production during storage (Open-field)

Abscissa: The calculated sugar content was calculated from cumulative CO_2 production by the use of formula; $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2 \rightarrow 6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$. The cumulative CO_2 production was calculated from figure 1. Ordinate: Measured decrease of sugar contents were calculated from the initial sugar content minus sugar contents analyzed at various days.

Storage temperature

0°C: Not yellowing: ● Yellowing: ○
 10°C: " : ▲ " : △
 20°C: " : ■ " : □
 30°C: " : ▼ " : ▽

方、黄化がみられる時期では、傾きは0.37と明らかに低くなり、糖の実際の減少量は呼吸の37%にしか相当しなかった。その様に黄化の発生の前後で、傾きの変わる傾向はハウス栽培品でも同様であった（データ省略）。従って、黄化の発生前の呼吸では、糖やデンプンのような貯蔵成分を利用していると考えられるが、黄化の発生後の呼吸では、糖の他にクロロプラスト膜やタンパク質などの細胞構造を作っている高分子成分を分解して、呼吸基質として利用していると推測される。

5. 貯蔵中の外観の変化と糖含量の関係

ハウレンソウの外観は、葉の黄化の他にとろけ（腐敗）の発生、萎凋などによって評価が下がり、それらも外観評価の指標の一つにしているものも多い。しかし、今回は外観の品質劣化を植物のより本質的の老化である黄化に

限定するために、貯蔵中の水分蒸散を極力抑えた状態で貯蔵を行った。そのため貯蔵中の重量減少は2~4%程度と少なく、萎凋による外観評価の低下はなかった。また、とろけは外観評価が1以下の時点で現れることから、品質低下の主たる要因ではなかった。

外観評価は両栽培区ともほぼ、30°Cでは2日後に、20°Cでは4日後に、10°Cでは7日後に著しく低下した（Fig. 7）。特に外葉の黄化は、糖含量の減少と同様に株全体の変化よりも早く進行し、かつその変化が株全体の評価を左右しているため、ハウレンソウの品質低下の判定には、外葉の変化に注目することが重要と考えられた。外観評価が黄化によって2以下に低下した時の、株全体の全糖含量の変化を見ると、露地栽培品では、開始時の1.97 g/100 g 新鮮重が、30°C 2日後で1.23 g、20°C 4日後で1.11 g、10°C 11日後で1.20 gとなり、37~44%減少していた。一方、変化の早い外葉身の全糖含量は、露地作で開始時の0.58 g/100 gが、30°C 2日後、20°C 4日後、10°C 11日後でそれぞれ0.06 g、0.06 g、0.09 gで株全体よりはるかに多い84~90%もの減少がみられた。石井¹¹⁾は、コカブの品質低下で同様の現象を観察し、調製の段階で黄化の早い外葉を多く除去する

Fig. 7 Deterioration patterns of bundled spinach of cultivated at outdoor and at the green house during storage at various temperatures

●—: open-field, ○--: green house. Freshness score. 4: Field fresh. 3: Slightly deteriorated, not yellowing. 2: Deteriorated but salable, slightly yellowing. 1: More deteriorated but edible, yellowing. 0: Not edible, extreme yellowing.

ことで外観評価の低下が遅くなったと報告している。ハウレンソウでもより長く品質保持させたい場合は、調製の段階で多めに外葉を除去することも有効と思われる。

矢野ら¹²⁾は、キャベツ、レタスの老化過程で、呼吸基質が消耗して、正常な生理機能を果たせなくなった時点で腐敗が始まると推測している。ハウレンソウでは、露地作の外葉身の糖含量 0.58 g/100 g 新鮮重が、0.13 g/100 g (30℃ 1 日後) や、0.10 g/100 g (20℃ 2 日後) まで減少した時点では、黄化はまだみられず、0.06 g/100 g (30℃ 2 日後, 20℃ 4 日後) まで減少した時に初めて黄化が発生した (Fig. 5)。すなわち、主な呼吸基質と思われる糖が葉身からはほぼ完全に消失してから、黄化すると判断された。ハウス作でもほぼ同様で、外葉身の糖含量 0.17 g/100 g が、0.05 g/100 g に減少した時黄化がみられた。以上から、ハウレンソウでは収穫後、主な呼吸基質である糖の減少が先行し、その後葉の緑色が分解するようであった。MANOS¹³⁾らは、エゾノギシギシの葉の老化を観察し、クロロフィルの分解には、Lag time があると報告している。ハウレンソウの場合もこれとほぼ同様で、貯蔵初期の糖のある間は、緑色が保たれていたが、糖の消失と同時に緑色も失われた。

WATADA ら¹⁴⁾や矢野ら¹²⁾は、サヤインゲンやレタスの貯蔵性は、呼吸基質である糖含量の多少が左右しているとしている。この理由について矢野らは、貯蔵開始時に糖含量の違うレタスでも、貯蔵中の糖の減少速度に差はないので、開始時の糖含量の多い方が呼吸基質が消耗するまでの時間が長く、貯蔵性が良いと推定している。

今回の露地作とハウス作のハウレンソウでは、呼吸速度が明らかに違っており (Fig. 2)、糖の減少速度にも差がみられた (Fig. 3)。そのため収穫時の糖含量は、露地作、ハウス作それぞれ 1.97 g/100 g, 0.99 g/100 g と 2 倍程度違うにもかかわらず、糖が消失する時期にほとんど差がなく、貯蔵性もほとんど変わらなかった (Fig. 7)。このことは、ハウレンソウの貯蔵性には収穫時の糖含量よりむしろ、栽培来歴の違いから生じる呼吸量の大小が貯蔵性の良否に関与することを示している。呼吸量に差が生じるメカニズムは不明であるが、夏ハウレンソウが今回呼吸量、糖含量ともに低かったハウス品より更に両者とも低いこと (日坂、未発表) を考え合わせると、主たる呼吸基質である糖の含量が見かけ上呼吸量を支配しているように見え、糖含量が少ないほど呼吸量が少なくなる傾向が認められる。

本研究の結果、ハウレンソウでは、外葉の糖が消失した時、黄化が始まり貯蔵限界になることが明らかになっ

た。したがって、呼吸による糖の消耗は食味以外に、外観的な品質劣化を考える上でも重要であり、CA 貯蔵などの手段で呼吸を抑制し、糖の減少を少なくすることができれば品質低下も抑制し、貯蔵可能期間の延長につながるものと思われる。

要 約

冬の露地作とハウス作のハウレンソウを 0, 10, 20, 30℃ で貯蔵し、呼吸量、糖含量の変化と、外観の変化との関連を検討した。

(1) ハウレンソウの糖含量は、露地作とハウス作では約 2 倍露地作の方が多く、葉身と葉柄では約 4 倍葉柄の方が多かった。

(2) ハウレンソウの呼吸量は、露地作では 0, 10, 20, 30℃ 下でそれぞれ、630 (CO₂ mg/kg·h), 280 mg, 123 mg, 42 mg で、ハウス作ではそれぞれ、343 mg, 163 mg, 68 mg, 26 mg で、露地作の方が 1.6~1.8 倍多かった。

(3) 糖含量は、貯蔵温度の高いほど、外側の葉ほど減少が早かった。

(4) 呼吸量から計算した糖の減少量と測定した糖の減少量の間の比は、黄化の発生してない時期では約 0.9 で、黄化の発生した時期では約 0.4 に減少した。

(5) ハウレンソウの品質低下は、外葉の糖含量が、露地、ハウス作とも 0.05~0.06 (g/100 gf.w.) 程度まで消費された時に黄化が始まり、その外葉の変化がハウレンソウ全体の外観評価を決定した。

(6) ハウス作より、露地作の方が全糖含量が多かったものの、呼吸量も多くて糖の消耗も早く、両者の間に貯蔵性の差は生じなかった。

文 献

- 1) 樽谷隆之: 日食工誌, 10, 186 (1963).
- 2) ASHRAE Handbook (1982 application): 33, 15.
- 3) 大久保増太郎: 野菜の鮮度保持 (養賢堂), p. 171 (1982).
- 4) 野菜の品質保持期間 (農林水産省 食品総合研究所編), p. 30 (1986).
- 5) 木下隆雄・亀野 貞・野口正樹: 農業及び園芸, 63, 51 (1988).
- 6) 矢野昌充・速水昭彦: 野菜試験場報告 A, 4, 77 (1978).
- 7) 緒方邦安・伊藤卓爾・岩田 隆: 日食工誌, 21, 394 (1974).
- 8) 細田 浩・名和義彦・黒木証吉: 食品総合研究所

- 報告, 38, 33 (1981).
- 9) 細田 浩・名和義彦・黒木証吉：食品総合研究所報告, 38, 40 (1981).
- 10) 平野稔彦・山下純隆・松本明芳：福岡県農業総合試験場研究報告, B-3, 61 (1984).
- 11) 石井 勝・新堀二千男：園学雑, 57, 319 (1988).
- 12) 矢野昌充・速水昭彦：野菜試験場報告 A. 4, 89 (1978).
- 13) MANOS, P.J., GOLDTHWAITE, J.: *Plant Physiology*, 55, 951 (1970).
- 14) WATADA, A.E., MORRIS, L.L.: *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 89, 375 (1967).

(昭和63年11月14日受理)

新 刊 紹 介

Nutrition Research Reviews Vol. 1

Roy H. SMITH 責任編集

人間および動物の栄養学に関する総説を収録するために発刊された。主に英国の研究者が執筆している。本巻には、牛乳不耐症、亜鉛の栄養、微量元素の欠乏による生化学変化、必須およびトランス脂肪酸、タウリンの栄養、栄養研究における体成分計測、動物試料中のタンニンの栄養効果、魚類の栄養の現状など15の論文が収録されている。1つの論文の長さは平均10頁と短い、各論文に100近い文献が引用されており、最近の現状を知るのに有用である。(T)

172×245 mm, 285頁, 71.00ドル

Cambridge University Press,
The Edinburg Building, Shaftesbury Road,
Cambridge, CB2 2RU UK