栽培期間中の気温がホウレンソウおよびコマツナの糖と ビタミンC含量に及ぼす影響

田村 晃*

秋田県農業試験場 010-1231 秋田県雄和町

Effect of Air Temperature on the Content of Sugar and Vitamin C of Spinach and Komatsuna

Akira Tamura*

Akita Agricultural Experiment Station, Yuuwa, Akita 010-1231

Summary

The relationship between the sugar and vitamin C contents in spinach (*Spinacia oleracea* L) and komatsuna (*Brassica campestris* L) and the maximum, minimum and mean air temperatures during the cultivation period was analyzed under conditions of limited solar radiation in winter. The results indicated that the minimum and mean air temperatures 10 days before harvest greatly affect the sugar and vitamin C contents in both crops. The sugar content (less than $1 \text{ g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}\text{FW}$) and vitamin C content (less than $50 - 70 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}\text{FW}$) in the two crops were not changed when the minimum air temperature 10 days before harvest was above 5°C . However, when the minimum air temperature decreased below 5°C , the two compounds increased linearly with the decreasing temperature. For example, when the minimum air temperature fell from 5 to -5°C , the sugar content increased linearly from approximately 1 to $5 \text{ g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}\text{FW}$ and the vitamin C content increased from $50 - 70$ to $175 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}\text{FW}$. These data show that the sugar and vitamin C contents of spinach and komatsuna can be increased by controlling the minimum air temperature at 5°C 10 days before harvesting.

キーワード： ビタミンC, ホウレンソウ, 気温, コマツナ, 糖

緒 言

ホウレンソウおよびコマツナの糖とビタミンC含量には気温や土壌養分(建部ら, 1995), 光条件(Miyajima, 1994), 水ストレス(渡邊ら, 1987)など様々な環境要因が影響を及ぼす。一般に両作物の上記成分含量は冬期に高く, 夏期に低いことが知られている。例えば, 宮崎(1985)は市販ホウレンソウにおいて, 冬期のものが夏秋期のものよりもビタミンC含量が多いことを, また, 渡邊ら(1994)はホウレンソウのビタミンCおよび還元糖含量は夏期よりも秋冬期に栽培した場合に高いと報告している。これらのことは, 栽培期間中の気温が上記成分含量の多少に大きな影響を及ぼす要因の一つであることを示している。しかし, これまでに栽培期間中の気温と上記成分含量との間の定量的な解析に関する報告はなされていない。そこで, 両作物の栽培期間中の気温と上記成分含量との関係を検討し, 両者間の定量的な解析を試みた。

材料および方法

1. 供試材料の育成

試験は1997年10月~1998年3月, 1998年8月~1999年3月, 1999年10月~2000年3月に実施した。ホウレンソウは‘ソロモン’, コマツナは‘せいせん7号’を供試した。糖とビタミンC含量の分析試料には, 出荷規格内の大きさの個体を用いた。このため, 両作物を各年ともに数回にわたって播種し, 一定の大きさの植物体が得られるようにした。

ホウレンソウとコマツナは秋田農試内の 100 m^2 のパイプハウス内で栽培した。各年ともに第1回目の播種前に窒素, リン酸, カリをそれぞれ $1 \text{ kg} \cdot \text{a}^{-1}$, 苦土石灰, ようりん, 稲ワラ堆肥をそれぞれ $10, 4, 200 \text{ kg} \cdot \text{a}^{-1}$, ハウス全面に施用した。1回の播種面積は約 15 m^2 で, 栽培密度は条間 20 cm , 株間 5 cm ($100 \text{ 個体} \cdot \text{m}^{-2}$) とした。

2. 試料の採取

葉菜類の糖, ビタミンC含量には日変動がおこることが知られている(Miyajima, 1994)ので, 本研究では午前8時30分~9時の間にホウレンソウとコマツナを各4~5個体(1個体1反復)採取した。これらを直ちに葉身と葉柄分けて, 5 mm 角程度に刻み, 部位別に新鮮重 3 g 秤量し

2003年5月20日 受付. 2004年1月8日 受理.

*E-mail: a-tamura@agri-ex.pref.akita.jp

て試験管に入れ、分析に供するまで -20°C で保存した。

3. 分析方法

糖およびビタミンC含量は先の報告(田村, 1999)と同様の方法, すなわち, 糖はアンスロン法, ビタミンCはヒドラジン法で測定, 定量し, 分析値は3反復の平均値で示した。

4. ハウス内気温の測定

ハウス内の気温は直径0.3 mmの銅・コンスタンタン熱電対を直径5 cmの通風型塩ビ管内にセットし, ハウス内中央部の地上1 mの地点で測定した。

5. ハウス内気温と糖およびビタミンC含量との関係の解析方法

糖とビタミンC分析用試料の採取(以後, 収穫)の前日から20日前にかけての最高, 最低および平均気温とハウレンソウとコマツナの糖, ビタミンC含量との関係を1次回帰式を用いた回帰分析により解析した。

結 果

ハウス内気温は10月から12月中旬にかけて次第に低下し, 厳寒期(12月下旬~2月上旬)には最高, 最低および平均気温(平均気温はデータ略)はそれぞれ $3\sim 15^{\circ}\text{C}$, $-3\sim 1^{\circ}\text{C}$, $-1\sim 5^{\circ}\text{C}$ となった(第1図)。年次変動は最高気温が $2\sim 14^{\circ}\text{C}$ で最も大きく, 次いで平均気温が $1\sim 7^{\circ}\text{C}$, 最低気温は最も小さく $1\sim 4^{\circ}\text{C}$ であった。

第2図に収穫前20日間の最低気温とコマツナ葉身の糖含量との関係を示す。コマツナ葉身の新鮮重当たりの糖

第1図 1997/98年, 1998/99年および1999/2000年におけるハウス内の最高気温と最低気温の推移
最高気温: □, 1997/98年; ○, 1998/99年; △, 1999/2000年
最低気温: ■, 1997/98年; ●, 1998/99年; ▲, 1999/2000年

第1表 収穫前日から20日間の最高, 最低および平均気温とハウレンソウ, コマツナ葉身の糖含量との関係から得られた1次回帰式の決定係数

収穫前 日数	ハウレンソウ			コマツナ		
	最高気温	最低気温	平均気温	最高気温	最低気温	平均気温
1	0.178	0.314	0.368	0.080	0.444	0.277
3	0.300	0.452	0.483	0.135	0.598	0.420
7	0.469	0.576	0.635	0.282	0.694	0.575
10	0.503	0.587	0.686	0.325	0.746	0.671
15	0.565	0.603	0.701	0.445	0.736	0.726
20	0.522	0.628	0.633	0.540	0.738	0.739

含量は最低気温が $5\sim 20^{\circ}\text{C}$ の範囲では約 $1\text{ g}\cdot 100\text{ g}^{-1}\text{FW}$ であったが, 5°C 以下では気温が低下するにつれて急激に高まる傾向がみられた。この傾向はコマツナ葉身のビタミンC含量, ハウレンソウ葉身の糖およびビタミンC含量にも同様にみられた(データ略)。

そこで, ハウス内気温とハウレンソウ, コマツナの糖およびビタミンC含量との関係を把握するため, 両作物の糖およびビタミンC含量と収穫前日から20日前にかけての 20°C 以下の最高気温, 5°C 以下の最低気温および 10°C 以下の平均気温との関係を1次回帰式で解析した。

最高, 最低および平均気温とハウレンソウ葉身の糖含量との関係から得られた1次回帰式の決定係数は, 平均気温で最も高い数値が得られ, 最低気温が次いで高かった(第1表)。コマツナ葉身の糖含量は最低気温で最も高い数値が得られ, 平均気温が次いで高かった。また, 最低および平均気温における決定係数は両作物ともに収穫前日から10日まで徐々に高まり, 10日以降は同程度であった。このことから, 収穫前10日間の最低および平均気温から両作物葉身の糖含量を推定できると考えられた。なお, 両作物の葉柄の糖含量も葉身と同様の傾向がみられた(データ略)。

最高, 最低および平均気温とハウレンソウ葉身のビタミンC含量との関係から得られた1次回帰式の決定係数は, 最低気温で最も高い数値が得られた(第2表)。また, 最低気温における決定係数は両作物ともに収穫前日から10日まで徐々に高まり, 10日以降は同程度であった。こ

第2図 収穫前20日間の平均最低気温とコマツナ葉身の糖含量との関係

第2表 収穫前日から20日間の平均, 最高および最低気温とハウレンソウ, コマツナ葉身のビタミンC含量との関係から得られた1次回帰式の決定係数

収穫前 日数	ハウレンソウ			コマツナ		
	最高気温	最低気温	平均気温	最高気温	最低気温	平均気温
1	0.017	0.461	0.207	0.064	0.455	0.240
3	0.055	0.689	0.386	0.097	0.654	0.388
7	0.148	0.770	0.555	0.197	0.667	0.527
10	0.193	0.817	0.661	0.252	0.714	0.621
15	0.295	0.820	0.749	0.352	0.703	0.682
20	0.410	0.830	0.795	0.471	0.697	0.718

第3図 収穫前10日間のハウス内気温とハウレンソおよびコマツナ葉身の糖含量との関係
 ハウレンソウ: A, 平均最高気温; B, 平均最低気温; C, 平均気温
 コマツナ: D, 平均最高気温; E, 平均最低気温; F, 平均気温
 AとD, BとEおよびCとFの回帰式はそれぞれ20℃以下, 5℃以下, 10℃以下の気温の範囲により作成した。

のことから, 収穫前10日間の最低気温から両作物葉身のビタミンC含量を推定できると考えられた. なお, 両作物の葉柄のビタミンC含量も葉身と同様の傾向がみられた (データ略).

両作物葉身の糖含量は, 収穫前10日間の平均最低気温が5~20℃の範囲, 平均気温が10~25℃の範囲では1 g・100 g⁻¹FW以下で一定であったが, これに対して平均最低気温が5℃以下, 平均気温が10℃以下の範囲では直線的に高まった (第3図). すなわち, 平均最低気温が5℃, 平均気温が10℃で両作物の糖含量は約1 g・100 g⁻¹FWであったが, 平均最低気温が-5℃, 平均気温が0℃に低下すると両作物の糖含量は約5 g・100 g⁻¹FWに高まった. 一方, 平均最高気温と両作物の糖含量との間には平均最低気温, 平均気温のような明瞭な関係はみられなかった. なお, 両作物の葉柄の糖含量も葉身と同様の傾向がみられた (データ略).

両作物葉身のビタミンC含量は, 収穫前10日間の平均最低気温が5~20℃の範囲, 平均気温が10~25℃の範囲ではともに, ハウレンソウで約50 mg・100 g⁻¹FW, コマツナで約75 mg・100 g⁻¹FWで一定であったが, これに対して平均最低気温が5℃以下, 平均気温が10℃以下の範囲では両作物のビタミンC含量は直線的に高まった (第4図). すなわち, 平均最低気温が5℃, 平均気温が10℃で両作物のビタミンC含量は約50~70 mg・100 g⁻¹FWであったが, 平均最低気温が-5℃, 平均気温が0℃に低下すると両作物のビタミンC含量は約175 mg・100 g⁻¹FWに高

第4図 収穫前10日間のハウス内気温とハウレンソおよびコマツナ葉身のビタミンC含量との関係
 ハウレンソウ: A, 平均最高気温; B, 平均最低気温; C, 平均気温
 コマツナ: D, 平均最高気温; E, 平均最低気温; F, 平均気温
 図中の各回帰式は第3図と同様の気温の範囲により作成した。

まった. 一方, 平均最高気温と両作物のビタミンC含量との間には平均最低気温, 平均気温のような明瞭な関係はみられなかった. なお, 両作物の葉柄のビタミンC含量は葉身よりも含量が少ないものの, 気温との関係に関しては同様の傾向がみられた (データ略).

考 察

ハウレンソウとコマツナの糖およびビタミンC含量とハウス内気温との関係を明らかにするため, 両成分の収穫前日から20日前にかけての最高, 最低および平均気温と両成分含量との関係を解析した. その結果, コマツナ葉身の糖含量, 両作物葉身のビタミンC含量は最低気温と最も高い相関関係が認められ, ハウレンソウ葉身の糖含量は平均気温, 最低気温の順に高い相関関係が認められた. さらに, 両成分の収穫前日から20日前にかけての最低気温, 平均気温と両成分含量との関係から得られた1次回帰式の決定係数は, 収穫前日から10日まで徐々に高まり, 10日以降は同程度となった (第1表, 第2表). このことから, 収穫前10日間の最低ないしは平均気温が両作物の糖およびビタミンC含量に大きく影響すると考えられた. すなわち, 収穫前10日間の平均最低気温が5~20℃の範囲, 平均気温が10~25℃の範囲では両成分は低い含量で一定であったが, これに対して平均最低気温が5℃以下, 平均気温が10℃以下の範囲では気温が低下するにつれて, 直線的に高まった (第3図, 第4図).

北東北日本海側は冬期に降雪, 曇天日が多く, 寡日射

条件となる。従って、ハウス内気温は18時頃から翌朝9時頃まで、最低気温域の時間帯が長く続くので、平均気温は最高気温よりも最低気温に近似し、また、両作物は最低気温域に長時間さらされる(田村ら, 2003)。このことが、最低ないしは平均気温と両成分含量との間の相関関係が高くなった一因と考えられる。

ところで、農家が両作物を栽培しているハウス内の気温を把握する場合、安価でかつ簡単なのは、棒状最高最低温度計をハウス内に設置し、ハウス内の記録ノートに記入する方法である。このことを勘案すると、第3図、第4図に示した収穫前10日間の最低気温と糖およびビタミンC含量の関係から得られた回帰式により両成分含量を推定するのが良いと考えられる。

加藤ら(1995)は冬期に日射量の豊富な太平洋側において、気温を低く保って栽培することによりハウレンソウの各種ビタミン含量が高まることを報告した。筆者は寡日射条件においても、低温処理によりハウレンソウとコマツナの糖およびビタミンC含量が高まることを確認した(田村, 1999; 田村ら, 2003)。このことから、北東北地域の冬期の寒冷気象を活かして、糖とビタミンC含量の高いハウレンソウ、コマツナを生産し、消費者に提供することが可能である。すなわち、寡日射条件となる日本海側においては、収穫前10日間の最低気温を -5°C 程度で管理すると糖とビタミンC含量の高いハウレンソウとコマツナを生産することができる。

摘 要

冬期寡日射条件下において、ハウレンソウとコマツナの糖およびビタミンC含量と栽培期間中の最高、最低および平均気温との相関関係を解析した結果、両作物の上記成分含量は収穫前10日間の最低ないしは平均気温の影響を大きく受けることが明らかになった。

両作物ともに収穫前10日間の平均最低気温が $5\sim 20^{\circ}\text{C}$ の範囲では糖含量が $1\text{ g}\cdot 100\text{ g}^{-1}\text{FW}$ 以下、ビタミンC含量が $50\sim 70\text{ mg}\cdot 100\text{ g}^{-1}\text{FW}$ 以下で低いが、これに対して 5°C 以下の範囲では両作物の上記成分含量が直線的に上昇した。例えば、平均最低気温が 5°C から -5°C に低下すると、両作物葉身の糖含量は約 $1\text{ g}\cdot 100\text{ g}^{-1}\text{FW}$ から約 $5\text{ g}\cdot 100\text{ g}^{-1}\text{FW}$ に直線的に上昇した。また、平均最低気温が

5°C から -5°C に低下すると、両作物葉身のビタミンC含量は $50\sim 70\text{ mg}\cdot 100\text{ g}^{-1}\text{FW}$ から約 $175\text{ mg}\cdot 100\text{ g}^{-1}\text{FW}$ に直線的に上昇した。このことから、収穫前10日間の最低気温を -5°C 程度で管理すると、糖とビタミンC含量の高いハウレンソウとコマツナを生産することができると考えられた。

謝 辞 本論文を作成するにあたり、岩手大学農学部附属寒冷バイオシステム研究センターの上村松生教授からご指導を頂きました。深く感謝申し上げます。

引用文献

- Miyajima, D. 1994. Effect of concentration of nutrient solution, plant size at harvest on the ascorbic acid and sugar concentrations in leaves of hydroponically grown komatsuna (*Brassica campestris* L. rapifera group). J. Japan. Soc. Hort. Sci. 50: 239-246.
- 加藤忠司・青木和彦・山西弘恭. 1995. 冬期ハウス栽培ハウレンソウのビタミンC, β -カロテン, トコフェロールおよびシュウ酸含有量に対する外気低温の影響. 土肥誌. 66: 563-565.
- 田村 晃. 1999. 寡日射条件における低温処理がコマツナの糖およびアスコルビン酸含有率に及ぼす影響. 園学雑. 68: 409-413.
- 田村 晃・篠田光江・田口多喜子. 2003. 冬期寡日射地域におけるハウス内での保温とハウス内への外気導入がハウレンソウとコマツナの生育、耐凍性および糖とビタミンC含量に及ぼす影響. 秋田農試研報. 43: 19-44.
- 渡邊容子・内山総子・吉田企世子. 1994. 夏期および秋期栽培ハウレンソウの生育過程における部位別成分について. 園学雑. 62: 889-895.
- 渡邊幸雄・米山昌美・嶋田典司. 1987. ハウレンソウの糖、ビタミンCおよびシュウ酸含量に及ぼす水ストレス処理の影響. 土肥誌. 58: 427-432.
- 宮崎由子. 1985. 市販野菜中の還元型ビタミンC量の季節変動の統計解析. 家政学雑誌. 36: 833-839.
- 建部雅子・石原俊幸・石井かおる・米山忠克. 1995. 培地の窒素形態およびCa:K比がハウレンソウとコマツナの硝酸、アスコルビン酸、シュウ酸含有率に与える影響. 土肥誌. 66: 535-543.