

異なる輸送条件，貯蔵条件および貯蔵姿勢におけるアスパラガス(*Asparagus officinalis* L.)の若茎の外観，糖度，水分含量および破断応力の変動

誌名	日本食品保蔵科学会誌
ISSN	13441213
著者名	樋口,洋子 柘植,一希 北條,怜子 元木,悟
発行元	日本食品保蔵科学会
巻/号	41巻4号
巻号補足	
掲載ページ	p. 155-163
発行年月	2015年7月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター

Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



異なる輸送条件, 貯蔵条件および貯蔵姿勢における アスパラガス (*Asparagus officinalis* L.) の 若茎の外観, 糖度, 水分含量および破断応力の変動

樋口 洋子*・柘植 一希*・北條 怜子*・元木 悟*§

* 明治大学農学部

Effect of Transportation and Storage Conditions on the Quality of Asparagus Spears

HIGUCHI Yoko*, TSUGE Kazuki*, HOJYO Reiko* and MOTOKI Satoru*§

* Faculty of Agriculture, Meiji University, 1-1-1 Higashimita, Tama-ku, Kawasaki, Kanagawa 214-8571

Asparagus spears continue to grow even after harvest, but their quality may deteriorate over time. Therefore, methods for maintaining freshness are needed to ensure the quality and function of harvested asparagus spears. In this study, we examined the changes in the external appearance, Brix levels, moisture content, and hardness of sixth-year spears of 'Zenyu Yodel (NJ953)' for spring harvest under varying conditions of transportation and storage, including their orientation during storage. Asparagus spears transported and stored at low (chilling) temperatures showed better quality characteristics than those transported and stored under non-chilling conditions. Furthermore, the quality of spears stored vertically in water was better than that of spears stored horizontally. Moreover, in the asparagus spears transported at low temperature, Brix levels were lower in spears stored in water than in those stored without water. Wilting was also not observed in the spears stored in water. These results suggest that transportation conditions, storage temperature, and orientation of the asparagus spears during storage influence their quality.

(Received Mar. 18, 2015 ; Accepted Jun. 3, 2015)

Key words : External appearance, Brix, Hardness, Orientation during storage, Asparagus spear, Storage condition, Transport condition
外観, 糖度, 破断応力, 貯蔵姿勢, 若茎, 貯蔵条件, 輸送条件

アスパラガスは世界の多くの地域で消費されるポピュラーな野菜であり, 健康野菜として注目されている。緑黄色野菜の一つに分類され, 茎葉菜類の中では, 各栄養成分をバランスよく含む。特に, グリーンアスパラガスは野菜類の中でもタンパク質や, アスパラギンをはじめとしたアミノ酸と糖質が多く, ほかにビタミンBやC, Eなどのビタミン類やミネラルが比較的豊富で, リンやカリウム, カルシウム, 鉄, 亜鉛なども含まれる。また, アスパラガスの若茎は, 約93%が水分で, 残りの約7%が固形物である。おもな成分は炭水化物(4%前後)で, そのうち糖質が最も多い。次いでタンパク質が2.5%程度で, ほかに灰分や脂質, ビタミン類などが含まれる¹⁾。

未成熟な生育段階で収穫される若茎は収穫後も成長を続け^{2), 3)}, 野菜類の中では収穫後の品質劣化が起こりや

すい⁴⁾。アスパラガスの品質劣化のうち, 若茎の先端部は最初に外観の品質劣化が確認される部位であり⁵⁾, 穂先の開きの進行⁶⁾や色落ち, 軟化による腐敗⁷⁾などが発生する。ほかに, 萎縮をもたらす水分の減少⁸⁾, 糖やアミノ酸などの減少⁹⁾, 切り口などで見られる腐敗によるトロケといった症状²⁾などが発生し, 常温下では1週間以内に商品価値を失うとされる¹⁰⁾。なかでも, 若茎を等級別に選別する際の品質基準となる曲がりの発生¹¹⁾は, 輸送および貯蔵中に発生し, 商品価値に直接影響する品質劣化の症状である¹²⁾。高柳・山ノ井¹³⁾は, 若茎の曲がりに対する生産現場の選別作業に注目し, 形状選別を熟練者の判断に頼らず, 自動化するためのシステムを構築した。また, 若茎の基部から発生する繊維化の進行による硬化も, アスパラガスの商品価値に直接影響する品質

* 〒214-8571 神奈川県川崎市多摩区東三田1-1-1

§ Corresponding author, E-mail: motoki@meiji.ac.jp

劣化の症状である^{14),15)}。若茎の硬化の原因は、セルロースやヘミセルロース、リグニンなどの食物繊維含量の増加であり、筋張った硬さとして食感に直接影響し、消費者の購買意欲を下げる要因となる^{9),16)}。そのため、若茎の曲がりや硬化の発生は、アスパラガスを高品質に保つために防止すべき品質劣化の症状であると考えられる。

ところで、アスパラガスにおける品質劣化の症状は、貯蔵温度が25℃以上では貯蔵後数日で現れるが、10℃以下では抑制され、予冷および低温輸送の効果が大きいとされる¹¹⁾。収穫後の若茎の安定した品質や機能性を保持し、商品価値を高めるには、高品質のための栽培管理はもちろんであるが、流通時にいかに高品質を保つかという収穫後の輸送技術および貯蔵技術の確立が重要である。過去には、収穫後の若茎の品質や機能性を保持することを目的に、輸送および貯蔵条件、包装資材を活用した鮮度保持の試験が行われてきた。例えば、RENQUISTら¹⁷⁾は、収穫後のCA貯蔵がアスパラガスの鮮度保持に有効であり、若茎の呼吸速度、糖含量および可溶性タンパク質の減少が緩やかになり、20℃の温度条件下において貯蔵日数を5日間延長できると報告した。しかし、若茎の曲がりや、若茎を低温で垂直に立てた状態で包装し、輸送および貯蔵することにより防止できるものの^{18),19)}、実際の生産現場では消費者の手元に届くまで低温を維持するのは難しく、輸送時に若茎が入ったコンテナを積み重ねることもあり、若茎の曲がりやの発生を完全に防止することは難しいとされている¹⁹⁾。さらに、若茎の曲がりやの発生は、品質管理において留意すべき症状であるものの、輸送および貯蔵条件に着目して曲がりによる品質劣化を研究した事例は見当たらない。

また、青果物の貯蔵において、貯蔵温度や貯蔵姿勢が貯蔵中の品質変化に影響を与えることが知られており、アスパラガスでは過去に、ニュージーランド産アスパラガスを、日本を含む北半球の国々に航空輸送することを想定し、輸送および貯蔵方法別の品質変化を調べた事例があるものの^{7),17),20)}、国内における貯蔵方法別の品質変化をデータで示した事例は少ない^{6),21)}。

そこで本研究では、アスパラガスを実際に栽培している生産現場で直接収穫した収穫直後の新鮮な若茎を用い、アスパラガスの収穫後の若茎の外観、糖度、水分含量および破断応力（若茎の硬さ）の変化を明らかにするため、収穫後の異なる輸送条件、貯蔵条件および貯蔵姿勢において若茎の品質変化を調査した。

実験方法

1. 供試材料および栽培条件

供試材料は、東京都三鷹市においてハウス長期どり栽培で春どりされた6年株の若茎を用いた。供試品種は、国内における作付状況と育成地および全雄品種の特徴である若茎の揃いを考慮し²³⁾、‘ゼンユウヨーデル (NJ 953)’ (パイオニアエコサイエンス)²⁴⁾を用いた。栽植様

式は、畝幅150cm、ベッド幅80cm、株間30cmの1条植え（栽植密度：2,222株・10a⁻¹）とした。栽培管理は、既報²⁴⁾を参考に行った。

2. 輸送および収穫調製条件

供試材料は、実験当日の午前9時に収穫し、漆崎²⁵⁾および元木ら²⁴⁾の報告を参考に、収穫直後に新聞紙で包み、若茎の穂先を上にして立てた状態で、収穫後1時間以内に明治大学生田キャンパス（神奈川県川崎市）へ輸送した。輸送は、低温またはそのままの状態で行った。低温輸送は、2014年5月3日にクーラーボックス（保冷剤により6.2～9.9℃に保持）に入れて行い、そのままの状態の輸送は、2014年5月1日に行った（温度範囲は19.2～49.5℃）。明治大学生田キャンパス到着後も貯蔵試験開始時まで輸送条件を保ったまま、収穫調製および収穫開始時の調査を行った。供試材料は、既報²⁴⁾を参考に、収穫時の長さが30cm以下の若茎を、出荷規格の25cm長に調製し、L級規格（長野県規格の1茎重で15g以上40g未満）に揃え、無作為に選んだものとした。

3. 貯蔵条件および試験区

貯蔵は、低温（家庭用冷蔵庫（SJ-PD17W, SHARP社製）の冷蔵室：1.9～4.6℃、湿度30±1%）および常温（明治大学生田キャンパスの空調制御室内：23.9～25.1℃、湿度15±1%）で行った。アスパラガスの貯蔵における特徴的な問題として、横向きの貯蔵姿勢で貯蔵された際に生じる曲がりやの発生があることから¹¹⁾、貯蔵姿勢を縦置きと横置きに分け、縦置きは若茎の穂先を上にして立てた状態で、横置きは若茎を寝かした状態で貯蔵した。さらに、若茎の成長は水分の供給によって促進されるため¹¹⁾、切り口を水に浸けたものとそうでないものに分けて貯蔵した。試験区は、低温貯蔵、常温貯蔵の順にそれぞれ、無水で貯蔵姿勢が縦置き（以下「低温・無水・縦」、「常温・無水・縦」と表記する）、水を加えた縦置き（「低温・水・縦」、「常温・水・縦」）および横置き（「低温・水・横」、「常温・水・横」）の6処理区を設け、さらに低温貯蔵では、比較として、漆崎²⁵⁾および元木ら²⁴⁾の報告を参考に、若茎を新聞紙で包み、貯蔵姿勢が縦置きの処理区（「低温・新聞・縦」）を設けた。

4. 測定タイミング

既報^{4),6),8),26)}では、アスパラガスの貯蔵期間は3～5日間程度であるが、貯蔵姿勢が横置きの貯蔵では、水分が供給され、高温多湿の場合には、わずか1日でも曲がりやが著しく¹¹⁾、呼吸速度などの若茎内の生理生態的な活動も活発になる^{17),27)}ことから、本研究の各測定は、収穫後3時間以内（輸送後の明治大学生田キャンパス到着直後、貯蔵試験開始時）および48時間貯蔵後に行った。

5. 品質評価方法

若茎の重量増減率は、貯蔵試験開始時を100%としたときの貯蔵後の増減割合で示した。若茎伸長量は、貯蔵試験開始時に出荷規格の25cm長に調製し、貯蔵後に長さを測定した。商品性評価は、曲がり、萎縮、若茎頭部の

締まり、異臭および穂先の色の5項目について、HRO花・野菜センターの鮮度保持に関する試験方法・項目²⁸⁾を参考に、5段階(評点「5」を収穫時または試験開始時の状態、評点「4」を劣化がごくわずかに進行しているが、無調製またはごくわずかな調製により商品化が可能な状態、評点「3」を劣化が明らかに認められるが、調製すれば商品化が可能な状態、評点「2」を劣化が進行し、調製すれば利用可能な部分は残るが、商品化はできない状態、評点「1」を商品性が完全に失われるほど劣化が進行し、調製不可能な状態)で評価した。水分含量は、MOTOKIら²¹⁾の方法を参考に、送風定温乾燥機(DRM620TB, ADVANTEC社製)を用い、70℃で3日間乾燥させたあと、乾燥前の重量と比較することにより求めた。

6. 糖度および破断応力の測定

糖度の測定は、MOTOKIら²¹⁾の方法に従って、搾汁をそのまま使用し、デジタル糖度計(PR-201a, アタゴ社製)を用いて測定した。出荷規格に調製した若茎を先端部から8 cmごとに分け、先端部8 cmを測定した。また、破断応力の測定には、小型卓上試験機(EZ Test, EZ-SX, 島津製作所社製)を用いた。破断応力の測定は、元木ら²⁴⁾の方法に従って、若茎基部(切断面)から2, 4, 6, 8および10 cmの計5か所を測定した。カッターナイフ替刃(小型刃, オルファ社製。刃厚: 0.38 mm, 刃幅: 9 mm)を使用し、切断時の最大応力として測定した。プランジャーの送り速度は40 mm・min⁻¹とした。それぞれの試験区について6本の若茎を用いて測定し、それらを反復とした。

貯蔵試験開始時および48時間貯蔵後に、糖度は3本、その他の項目は6本の若茎を用いて測定し、それらを反復とした。

実験結果

1. 輸送および貯蔵条件と若茎の品質

(1) 低温輸送 低温輸送した若茎において、異なる貯蔵条件および貯蔵姿勢が48時間貯蔵後の形状に及ぼす影響を図1に、低温輸送した若茎の異なる貯蔵条件が若茎の品質に及ぼす影響を表1に示した。

貯蔵試験開始時の糖度は $5.7 \pm 0.4^{\circ}$ 、水分含量は $92.4 \pm 0.6\%$ であった。無水区では、48時間貯蔵後の重量が減少し、重量減少率は「常温・無水・縦」が19.3%で最も大きく、次いで「低温・無水・縦」が11.3%、「低温・新聞・縦」が8.0%の順であった。一方、水を加えた区ではいずれも重量が増加し、最も重量増加率が大きかった「常温・水・横」では貯蔵試験開始時に比べて重量が10.3%増加した。48時間貯蔵後の若茎伸長量は、「常温・水・横」が3.4 cmで最も大きく、次いで「低温・水・横」の2.1 cmの順で、水を加えた区が無水区に比べて大きく、貯蔵姿勢では横置きが縦置きに比べて大きくなる傾向であった。また、48時間貯蔵後の糖度は、水を加

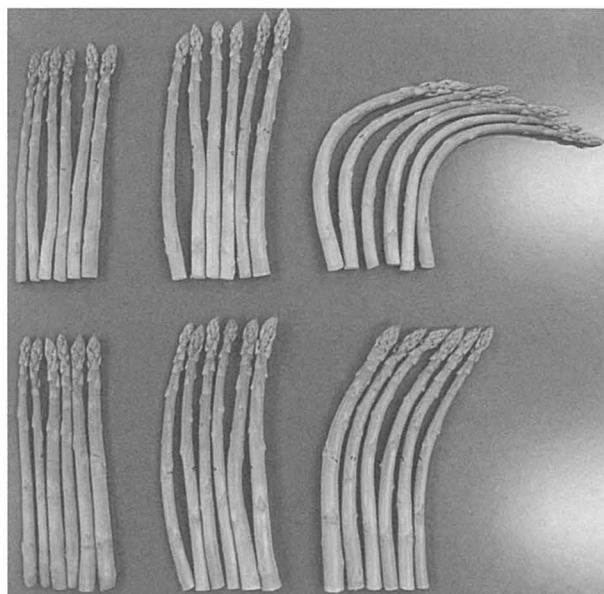


図1 低温輸送において異なる貯蔵条件および貯蔵姿勢が貯蔵48時間後の若茎の形状に及ぼす影響

上は常温(25℃)、下は低温(5℃)で貯蔵。
いずれも左から「無水・縦」、「水・縦」、「水・横」。

えた区が無水区に比べて同等か低くなり、水を加えた区は、貯蔵試験開始時に比べて同等か低くなった。48時間貯蔵後の水分含量は、常温貯蔵、低温貯蔵ともに、水を加えた区が無水区に比べて高くなった。水を加えた区は縦置きと横置きで有意な差はみられず、「低温・水・縦」(93.7%、貯蔵試験開始時92.4%との検定結果NS)を除き、貯蔵試験開始時に比べて、いずれも高い値を示した。48時間貯蔵後の若茎の商品性評価のうち、曲がり、萎縮および若茎頭部の締まりは、「常温・水・横」が最も低い値(1.0)を示し、常温貯蔵、低温貯蔵ともに、横置きが縦置きに比べて低い値を示した。萎縮および若茎頭部の締まりは、「常温・無水・縦」でそれぞれの評点が2.8および1.5と最も低い値を示し、ほかの試験区に比べて評点が顕著に低かった。萎縮は、常温貯蔵、低温貯蔵ともに、無水区が水を加えた区に比べて低い値を示し、水分含量との間に正の相関関係が認められた($r=0.790^*$)。異臭は、試験区間で有意な差はみられなかった。若茎の穂先の色は、「低温・水・縦」および「低温・水・横」で赤色に変色し、ほかの試験区に比べてやや低い値(それぞれ3.5)を示した。

(2) そのままの状態の輸送 そのままの状態で輸送した若茎の異なる貯蔵条件が若茎の品質に及ぼす影響を表1に示した。

貯蔵試験開始時の糖度は $6.5 \pm 0.2^{\circ}$ 、水分含量は $93.1 \pm 0.2\%$ であった。48時間貯蔵後の重量は、いずれの試験区も3.1~18.8%の範囲で減少し、重量減少率は「常温・無水・縦」が18.8%で最も大きかった。48時間貯蔵後の若茎伸長量は、「常温・水・縦」が1.1 cmで最も大きく、常温貯蔵では水を加えた区が無水区に比べて大きくなる傾向であったが、「低温・新聞・縦」(0.4 cm)を除

表1 輸送条件および貯蔵条件が

輸送条件	試験区	重量増減率 (%)	若茎伸長量 (cm)	曲がり	若茎頭部 縮まり
低温	貯蔵試験開始時				
	常温・水・縦	8.2±3.8 ^y c ^x	1.9±0.3 b	4.8 a	4.2 a
	常温・水・横	10.3±2.0 c	3.4±0.2 a	1.0 d	4.5 a
	常温・無水・縦	-19.3±0.7 a	-0.3±0.1 d	4.2 b	1.5 b
	低温・水・縦	1.5±0.6 c	0.8±0.1 c	4.7 ab	4.8 a
	低温・水・横	7.5±0.7 c	2.1±0.2 b	3.0 c	4.8 a
	低温・無水・縦	-11.3±0.6 ab	-0.9±0.0 d	5.0 a	4.8 a
	低温・新聞・縦	-8.0±0.8 b	-0.6±0.1 d	5.0 a	4.7 a
そのままの状態	貯蔵試験開始時				
	常温・水・縦	-7.1±4.1 b	1.1±0.3 a	3.8 b	5.0 a
	常温・水・横	-7.9±1.9 b	0.7±0.2 ab	4.0 b	4.8 a
	常温・無水・縦	-18.8±1.0 a	-0.2±0.2 c	4.8 a	3.2 b
	低温・水・縦	-5.8±1.1 b	0.1±0.0 bc	4.5 ab	4.5 a
	低温・水・横	-3.1±1.0 b	-0.1±0.0 c	5.0 a	5.0 a
	低温・無水・縦	-9.5±0.4 ab	0.1±0.1 bc	4.8 a	4.8 a
	低温・新聞・縦	-6.6±0.8 b	0.4±0.1 abc	5.0 a	4.8 a

^x評点「5」を収穫時または試験開始時の状態、評点「4」を劣化がごくわずかに進行しているが、無調製またはごくわずかな劣化が進行し、調製すれば利用可能な部分は残るが、商品化はできない状態、評点「1」を商品化が完全に失われるほど劣化

^y平均値±標準誤差（糖度および貯蔵試験開始時の水分含量はn=3, 他はn=6）。

^z輸送条件ごとに統計処理を行った。Tukeyの多重検定により、異符号間に5%以下の水準で有意差あり。

^w貯蔵試験開始時と貯蔵後の若茎について、Student's t-testにより1%（**）または5%（*）水準で有意差あり、またはなし調査せず。

き、低温貯蔵（-0.1～0.1cmの範囲）および常温貯蔵の「常温・無水・縦」（-0.2cm）では、ほとんど伸長しなかった。48時間貯蔵後の糖度は、「常温・水・縦」が4.0°で最も低く、常温貯蔵では水を加えた区が無水区に比べて低くなる傾向であったが、低温貯蔵では水を加えた区が無水区に比べて高くなる傾向を示した。48時間貯蔵後の水分含量は、「常温・無水・縦」がほかの試験区に比べてやや低い値（92.7%）であったが、貯蔵試験開始時（93.1%）との検定結果、いずれの試験区も有意な差はみられなかった。48時間貯蔵後の若茎の商品性評価のうち、曲がり、常温貯蔵では「常温・無水・縦」が水を加えた区に比べて高い値（4.8）を示したが、低温貯蔵では有意な差はみられなかった。萎縮は、常温貯蔵が低い値（評点が1.2～1.5）を示し、低温貯蔵では「低温・無水・縦」（1.7）がほかの試験区（2.3～2.5）に比べて評点が低かった。また、低温およびそのままの状態の輸送を含めた総合において、水分含量との間に相関関係が認められなかった（それぞれ $r = -0.119$ および 0.249 ）。若茎頭部の縮まりは、「常温・無水・縦」が3.2と最も低い値を示し、ほかの試験区（4.5～5.0）に比べて評点が低かった。異臭は、試験区間で有意な差はみられなかった。

2. 輸送および貯蔵条件と若茎の破断応力

（1）低温輸送 低温輸送した若茎の異なる貯蔵条件

が若茎の破断応力に及ぼす影響を表2に示した。

貯蔵試験開始時の若茎の破断応力は、最大値が3.1N、平均値が1.9Nであった。48時間貯蔵後の若茎の破断応力は、貯蔵試験開始時に比べていずれの試験区も同等か硬くなり、破断応力の最大値および平均値は、「低温・無水・縦」がそれぞれ8.7Nおよび6.5Nで最も高く、次いで「常温・無水・縦」が7.9Nおよび6.2N、「低温・新聞・縦」が6.3Nおよび5.8Nの順であった。水を加えた区は、無水区に比べて破断応力の最大値が低い傾向がみられ、特に貯蔵姿勢が縦置きで低く、「低温・水・縦」および「常温・水・縦」がそれぞれ3.7Nおよび3.8Nであった。若茎の基部（切断面）から2, 4, 6, 8および10cmの破断応力の平均値も同様の傾向がみられ、貯蔵試験開始時に比べていずれの試験区も硬くなり、「低温・無水・縦」および「常温・無水・縦」の平均値は、それぞれ6.5Nおよび6.2Nと高く、水を加えた貯蔵姿勢が縦置きで低かった（「低温・水・縦」および「常温・水・縦」がそれぞれ3.4Nおよび3.0N）。

（2）そのままの状態の輸送 そのままの状態で輸送した若茎の異なる貯蔵条件が若茎の破断応力に及ぼす影響を表2に示した。

48時間貯蔵後の若茎の破断応力の最大値は、3.9～8.4Nの範囲で個体間差が大きく、有意な差はみられなかった。破断応力の平均値は、「常温・水・縦」（7.4N）で

貯蔵48時間後の若茎の品質に及ぼす影響

商品性評価 ²						
異臭	萎縮	穂先の色	糖度(°Brix)	t 検定	水分含量(%)	t 検定
			5.7±0.4		92.4±0.6	
4.7 a	4.8 a	5.0 a	4.9±0.2 c	* ^w	94.0±0.2 a	*
5.0 a	4.7 a	4.8 a	4.5±0.3 c	*	94.2±0.2 a	*
5.0 a	2.8 c	4.6 ab	6.6±0.5 a	NS	91.9±0.3 b	NS
5.0 a	5.0 a	3.5 b	5.4±0.1 b	NS	93.7±0.1 a	NS
5.0 a	5.0 a	3.5 b	4.9±0.1 c	*	94.0±0.1 a	*
5.0 a	4.0 b	4.8 a	5.7±0.3 ab	NS	92.3±0.2 b	NS
5.0 a	4.8 a	4.0 ab	5.7±0.1 ab	NS	92.7±0.1 b	NS
			6.5±0.2		93.1±0.2	
5.0 a	1.5 b	— ^v	4.0±0.1 e	**	93.5±0.3 a	NS
5.0 a	1.2 b	—	5.1±0.3 d	**	93.8±0.2 a	NS
4.8 a	1.2 b	—	6.6±0.1 ab	NS	92.7±0.2 b	NS
5.0 a	2.5 ab	—	6.9±0.0 a	*	93.2±0.1 a	NS
5.0 a	3.3 a	—	5.8±0.3 b	NS	93.3±0.2 a	NS
5.0 a	1.7 b	—	5.3±0.2 cd	**	93.4±0.2 a	NS
5.0 a	2.3 ab	—	6.1±0.3 abc	NS	93.1±0.2 a	NS

調製により商品化が可能な状態、評点「3」を劣化が明らかに認められるが、調製すれば商品化が可能な状態、評点「2」を進行し、調製不可能な状態とした。

(NS)。

表2 輸送条件および貯蔵条件が貯蔵48時間後の若茎の破断応力に及ぼす影響

輸送条件	試験区	基部 (切断面) からの位置および破断応力 (N) ^z										t 検定	最大値(N) ^y	t 検定			
		2 cm	4 cm	6 cm	8 cm	10cm	平均値(N)										
低 温	貯蔵試験開始時	3.1		1.7		1.8		1.5		1.5		1.9±0.2 ^x		3.1			
	常温・水・縦	3.8	b ^w	3.5	b	3.1	b	2.9	c	2.0	b	3.0±0.3	c	** ^v	3.8	c	NS
	常温・水・横	4.1	ab	4.3	b	3.8	ab	4.4	abc	5.0	ab	4.3±0.4	bc	**	5.0	bc	NS
	常温・無水・縦	6.2	a	7.9	a	5.9	ab	6.3	ab	4.8	ab	6.2±0.3	a	**	7.9	ab	**
	低温・水・縦	3.7	b	3.6	b	3.6	ab	3.2	bc	3.0	ab	3.4±0.4	c	**	3.7	c	NS
	低温・水・横	4.7	ab	4.5	b	4.0	ab	3.4	abc	3.4	ab	4.0±0.4	c	**	4.7	bc	NS
	低温・無水・縦	6.0	ab	8.7	a	6.7	a	6.5	a	5.4	a	6.5±0.8	a	**	8.7	a	**
	低温・新聞・縦	6.2	ab	5.9	ab	5.7	ab	6.3	ab	5.3	a	5.8±0.8	ab	**	6.3	abc	*
そのまま の状態	常温・水・縦	6.6	a	6.7	a	7.9	a	7.3	a	8.4	a	7.4±0.8	a	— ^u	8.4	a	—
	常温・水・横	4.6	a	6.6	a	4.9	a	5.4	a	5.9	a	5.5±0.6	ab	—	6.6	a	—
	常温・無水・縦	3.7	a	3.9	a	3.6	a	3.0	a	3.3	a	3.5±0.4	b	—	3.9	a	—
	低温・水・縦	5.5	a	6.1	a	6.8	a	6.6	a	6.0	a	6.2±0.9	ab	—	6.8	a	—
	低温・水・横	5.1	a	6.3	a	4.0	a	7.8	a	7.0	a	6.0±1.0	ab	—	7.8	a	—
	低温・無水・縦	7.3	a	5.0	a	5.0	a	8.3	a	5.2	a	5.7±0.5	ab	—	8.3	a	—
	低温・新聞・縦	5.2	a	5.7	a	5.2	a	4.3	a	6.5	a	5.6±0.4	ab	—	6.5	a	—

²基部(切断面)を0 cmとし、2 cmごとに破断応力を測定した。

^y2～10cmにおける最大値(n=6)。

^x平均値±標準誤差。

^w輸送条件ごとに統計処理を行った。Tukeyの多重検定により、異符号間に5%以下の水準で有意差あり。

^v貯蔵試験開始時と貯蔵後の若茎について、Student's t-testにより1%(**)または5%(*)水準で有意差あり、またはなし(NS)。

^u「貯蔵試験開始時」のデータがないため、検定せず。

やや高く、「常温・無水・縦」(3.5N)でやや低い傾向であった。

考 察

アスパラガスは収穫後も成長を続け²⁾、野菜類の中では収穫後の品質劣化が起こりやすい⁴⁾。輸送および貯蔵において、若茎の商品価値に直接影響するさまざまな品質劣化の症状が発生する。なかでも曲がりの発生と繊維化は、消費者の購買意欲に直接影響するため、アスパラガスの重要な品質基準となる^{9), 12), 16)}。一方、収穫後における若茎の品質変化は、収穫時期や作型、天候などが影響を及ぼすという報告^{24), 29), 30)}があることから、若茎の収穫後の品質劣化を防止するには、品種や栽培条件、輸送条件、貯蔵条件などと品質変化との関係を明らかにする必要がある。

本研究では、アスパラガスを経営の主品目として、ハウス半促成長期どり栽培で実際に栽培している生産者の圃場から、実験当日の午前中に若茎を収穫し、その直後から輸送条件を低温およびそのままの状態に分け、貯蔵条件を低温および常温で、さらに水の有無に分け、貯蔵姿勢を縦置きおよび横置きに分けて、若茎の品質が大きく変化するとされる²⁷⁾収穫後3時間以内の貯蔵試験開始時および48時間貯蔵後に若茎の品質を調査した。

アスパラガスの若茎の出荷形態としては、先端部下のところと基部の2か所を結束し、先端部が上の立詰めとして流通させるのが一般的である¹¹⁾。本研究でも、低温輸送、そのままの状態の輸送ともに、若茎の穂先を上にして立てた状態で輸送し、その後の貯蔵試験に供試した。本研究の輸送における温度変化は、低温輸送とそのままの状態の輸送で大きく異なり、輸送中の温度は、クーラーボックスを用いた低温輸送では6.2~9.9℃の範囲、そのままの状態の輸送では19.2~49.5℃の範囲であった。そのままの状態の輸送における温度変化は、輸送に用いた車内の温度変化がおもな原因であり、若茎の外観に関しては、輸送後の明治大学生田キャンパス到着直後は問題なかった(達観調査)ものの、試験結果から判断すると、輸送中の温度変化が貯蔵後の若茎の品質に影響を与えた可能性が示唆された。

本研究では、若茎の鮮度を考慮し、収穫直後から貯蔵試験開始時まで3時間以内に調査を終えた。しかし、その短い時間でも、そのままの状態の輸送は低温輸送に比べて、商品性評価のうちの萎縮の品質劣化が著しく、常温貯蔵した場合には48時間貯蔵後にほとんどの若茎が商品性を失った。アスパラガスの鮮度保持のために最初に行うべきことは、収穫直後の若茎を低温下に運び、若茎の品温を速やかに下げることであり¹⁷⁾。若茎の呼吸速度は、収穫から2時間後に最大速度に達し、24時間後には最大時の3割程度まで減少する²⁷⁾。また、グルコース、フルクトースおよびスクロース含量も、収穫後24~48時間以内に半分かそれ以下まで減少するため²⁷⁾、若茎の品

温が急上昇しないように、収穫後の若茎は速やかに低温で貯蔵し、選別や収穫調製もできるだけ涼しい場所で行うことが望ましいと考えられる。

ほかの野菜類と同様、アスパラガスの場合も品質良好な若茎ほど鮮度が長く保持できる。品質のよい若茎とは、まっすぐ伸びて先端部が硬くしまっており、太さも適当で新鮮なものである¹¹⁾。アスパラガスの貯蔵において、若茎の切り口を水に浸けたままにしておくと、収穫後24時間までの吸水が最も多く、20℃の温度条件下において、若茎は14%伸長し、19%重量が増加したという報告³¹⁾がある。また、低反発性のフォームパッドを濡らして若茎の切り口に敷くと、市場までの輸送中に若茎の乾燥や繊維化による硬化を防止できるとされ¹⁷⁾、HEYESら³¹⁾と同じ20℃の温度条件下および暗黒下で垂直に立てた状態を保ち、若茎の切り口を水に浸けたものとそうでないものに分けて試験したところ、無水区で5%、水を加えた区で22~23%の伸長が確認された¹⁷⁾。本研究の48時間貯蔵後の水分含量も、低温輸送した若茎では常温貯蔵、低温貯蔵ともに吸水して高くなり、「常温・水・縦」(25℃)では、若茎は貯蔵48時間後が貯蔵試験開始時に比べて13.6%伸長し、重量も8.2%増加したものの、若茎の伸長率はRENQUISTら¹⁷⁾に比べて小さく、重量増加率もHEYESら³¹⁾に比べて小さかった。そのため、収穫後の品質変化には、貯蔵温度の違いだけでなく、栽培管理や品種などの違いも影響しているものと考えられる。また、本研究では、低温輸送した場合、水を加えた区は無水区に比べて萎縮が有意に抑えられ、既報³¹⁾の結果を支持した。一方、そのままの状態の輸送では、無水区だけでなく、水を加えた区においても、貯蔵試験開始時と48時間貯蔵後との間で水分含量に有意差が認められず、萎縮による外観の品質劣化が発生した。吸水が生じた低温輸送においては、水分含量と萎縮との間に有意な正の相関関係が認められ($r=0.790^*$)、そのままの状態の輸送および総合では相関が認められなかった(それぞれ $r=-0.119$ および 0.249)ことから、そのままの状態で輸送した若茎では、低温輸送と比較して吸水量が少なく、水を加えた区も無水区と同様に萎縮による外観の品質劣化が発生したものと推察された。

また、本研究では、48時間貯蔵後の品質を調査し、若茎の曲がりを評価したが、低温輸送した若茎のうち、切り口を水に漬けた常温貯蔵かつ貯蔵姿勢が横置きではすべての供試個体が曲がり、商品性を失った。既報^{4), 6), 8), 15), 26)}では、アスパラガスの貯蔵期間を3~9日間程度で試験しているが、本研究の曲がりによる若茎の形態変化は、貯蔵試験開始後12時間以内で現れ(達観調査)、比較的早い時期から商品性を失ったため、既報より短い48時間貯蔵後の調査とした。本研究の結果、アスパラガスの若茎の成長は垂直方向への伸長と屈曲であり、貯蔵姿勢と水分の供給によって貯蔵後の早い時期から若茎の成長が促進されることが明らかになった。しかし、若茎の曲が

りの発生は、そのままの状態の輸送が低温輸送に比べて少なく、特に「常温・水・横」において、低温輸送は評点1.0と顕著な曲がりを示したが(図1)、そのままの状態の輸送では商品化できないような曲がりは発生しなかった(評点4.0)。PAULL・JUNG-CHEN¹⁹⁾は、アスパラガスの若茎における曲がりの発生に関して、若茎全体を熱水に浸した後、速やかに冷却をする処理を既報²⁰⁾に基づいて検討し、温湯処理を47.5℃で2～5分間行えば、若茎の曲がりの発生を防止することができ、温湯処理を45℃で7分30秒および50℃で2分30秒以内を目安に行えば、外観の品質劣化の発生を防止できると報告した。本研究では、そのままの状態における1時間の輸送中に最大49.5℃まで温度が上昇した。温度制御された室内に持ち込む温度処理は、温湯処理に比べて、収穫物の品温を変化させるのに時間がかかるものの³³⁾、本研究ではそのままの状態(温度範囲は19.2～49.5℃)で1時間程度輸送したため、PAULL・JUNG-CHEN¹⁹⁾の温湯処理に比べて、高温に長時間さらされたものと推察され、温湯処理と同じ仕組みで曲がりの発生が抑えられた可能性がある。しかし、前述のとおり、すべての試験区において萎縮が顕著に発生したことから、外観の品質劣化を考慮すると、高温下に若茎を置いた時間が長かった可能性がある。そのままの状態の輸送では、若茎の曲がりの発生と貯蔵後の伸長を防止できたものの、萎縮による外観の品質劣化が発生したことから、若茎の商品価値を高めるには貯蔵前の予冷が重要であることが再認識できた。

アスパラガスは、収穫後に若茎基部の切り口から先端部に向けて組織の繊維質化が急速に進行し、食物繊維量の増加に伴い筋張った硬さの食感へと変化し、硬化することが収穫後の品質低下の一因とされる¹⁴⁾。アスパラガスの若茎は収穫後も伸長するが、その伸長量は水分および温度との関係が深い²⁾。収穫前における1日当たりの若茎の伸長量は、若茎頭部に近いほど大きく、基部では小さい³⁴⁾。また、若茎の硬さは、先端部に近い部分が軟らかく、基部に近づくほど硬くなる^{10), 21)}。アスパラガスの基部は、先端部に比べてリグニンを多く含んでおり³⁵⁾、リグニンを合成する酵素の量も先端部から基部にかけて増加することから、若茎の硬化に直接影響する細胞壁の木化が活発に進行する³⁶⁾。さらに、気温が高いほど若茎の伸長量が大きくなり³⁷⁾、若茎の成長が旺盛な条件では、1日に10cm以上伸長することから²⁾、伸長量が多い若茎先端部や中部では軟らかく、伸長量の小さい基部で硬化が進行しやすいものと考えられる。

ところで、アスパラガスの若茎の硬化を防止するには、低温貯蔵が有効である³⁸⁾。本研究における若茎の破断応力は、貯蔵温度の違いによる差がみられなかったが、貯蔵期間が48時間と短いことが原因と考えられる。収穫後の若茎の破断応力の変化を調べた前田ら¹⁵⁾、伊藤³⁹⁾および元木ら²⁴⁾の試験では、貯蔵期間は6～9日間であり、本研究でも貯蔵期間を長くすれば、貯蔵温度の違いによ

る差が現れた可能性がある。一方で、本研究では、水の有無による若茎の破断応力の差が確認され、既報²¹⁾の結果を支持した。低温輸送において、48時間貯蔵後の無水区は水を加えた区に比べて硬かったが、無水区では貯蔵試験開始時に比べて重量が大きく減少し、若茎に萎縮が発生したことにより、破断応力が大きくなったものと考えられる($r = -0.759^*$)。若茎の硬化には繊維質化の進行^{14), 15)}などの要因があり、水分含量の減少のみに影響されるわけではないものの、若茎の破断応力の大きかった無水区では繊維が発達し、破断応力が大きくなった可能性が考えられる。若茎の破断応力は、各試験区においてばらつきが大きく、若茎の太さと繊維量との間に相関関係が認められたという報告⁴⁰⁾があることから、今後は栽培条件や太さを考慮した選別、収穫調製などの条件をさらに揃えて試験を行うとともに、貯蔵条件の違いによる萎縮および繊維の発達が若茎の破断応力に与える影響も考慮する必要があると考えられた。

本研究の結果、若茎の商品性は、そのままの状態の輸送よりも低温輸送で、常温貯蔵よりも低温貯蔵で保持され、特に水を加えた場合には、横置きよりも縦置きの貯蔵姿勢で保持される傾向であった。一方で、低温輸送において、水を加えた区は無水区に比べて糖度が低く、そのままの状態の輸送後の低温貯蔵では水を加えた区で糖度が高くなった。そのため、若茎の商品性の保持には、そのままの状態の輸送、貯蔵温度の高い条件および横置きの貯蔵姿勢が品質劣化につながる可能性が示唆された。

アスパラガスの収穫後における若茎の品質変化に、収穫時期や作型、天候などが影響を及ぼすという報告^{24), 29), 30)}があり、さらに収穫時期における収穫後の品質変化には品種も関係する⁶⁾。若茎の収穫後の品質に関しては、過去にもいくつかの報告があるものの、供試品種名が示されていない報告^{14), 25)}や現在国内でほとんど栽培されていない品種を用いた報告³⁹⁾も多く、それらの報告をアスパラガスの収穫後における品質変化の事例として現在の栽培に適用することは難しいと考える。本研究では、供試品種として、国内における作付状況と育成地および全雄品種の特徴である若茎の揃いを考慮し²³⁾、‘ゼンユウヨーデル(NJ953)’を用いた。また、アスパラガスの収穫後の品質変化に関しては、春どりされたものに関する報告が多く^{6), 8), 39)}、本研究でも春どりされた若茎を用いて試験した。しかし、国内では長期どり栽培が全国的に広く普及していることから²³⁾、今後は春どり以外の収穫時期における若茎の収穫後の品質変化についても、本研究と同様の手法で把握する必要がある。さらに、収穫後の青果物の呼吸速度は貯蔵温度に依存し⁴¹⁾、アスパラガスの場合、10℃上がれば、元の温度の場合と比べて呼吸速度が2倍以上に増加する⁶⁾。また、収穫後の貯蔵温度が高いほど糖分含有率の減少が急激であり^{9), 15)}、アスコルビン酸含量の減少も速く、品質低下が大きい⁶⁾。さらに、本研究では若茎の曲がりが貯蔵試験開始後12時

間以内に発生した。そのため今後は、本研究で明らかとなった輸送条件、貯蔵条件および貯蔵姿勢の知見を基に、国内の主要品種²³⁾を用いて、若茎の商品性を保持するための試験を行うとともに、品種や収穫時期を考慮し、若茎の曲がりの発生や硬化など、アスパラガスの商品価値に直接影響する症状をはじめ、さまざまな品質劣化の症状に対応した鮮度保持方法を国内生産向けに確立していく必要がある。そして、それらの研究結果に基づいた鮮度保持技術の開発を進めることにより、国内産アスパラガスの品質をさらに向上させることが期待できる。

要 約

アスパラガスは収穫後も成長を続け、野菜類の中では収穫後の品質劣化が起りやすいため、安定した品質や機能性を保持するには、収穫後の鮮度保持方法を確立する必要がある。本研究では、‘ゼンユウヨーデル (NJ 953)’の6年株の春どりの若茎を用いて、異なる輸送条件、貯蔵条件および貯蔵姿勢における外観、若茎の糖度、水分含量および破断応力の変動を調査した。若茎の商品性は、そのままの状態の輸送よりも低温輸送で、常温貯蔵よりも低温貯蔵で保持され、特に水を加えた場合には、横置きよりも縦置きの貯蔵姿勢で保持される傾向であった。一方で、低温輸送区において、水を加えた区は無水区に比べて糖度が低くなったが、外観の萎縮は抑えられた。本研究の結果、若茎の商品性の保持には、輸送方法、貯蔵温度および貯蔵姿勢が影響し、そのままの状態の輸送、貯蔵温度の高い条件および横置きの貯蔵姿勢が品質劣化につながる可能性が示唆された。

文 献

- 1) 香川芳子監修：食品成分表 2014：女子栄養大学出版部，本表編，pp.46～47 (2014)
- 2) 前田智雄：アスパラガスの成分と鮮度保持（元木 悟・井上勝広・前田智雄編著：アスパラガスの高品質多収技術），農文協，pp.189～199 (2008)
- 3) O'DONOGHUE, E. M. and SOMERFIELD, S. D.: Cell walls of asparagus after harvest, *Acta Hort.*, **464**, 447～450 (1988)
- 4) 一丸禎樹・犬塚和男：アスパラガスの鮮度保持に関する研究，長崎総農林試報，**32**，1～14 (2006)
- 5) KING, G. A., HURST, P. L., IRVING, D. E. and LILL, R. E.: Recent advances in the post harvest physiology, storage and handling of green asparagus, *Postharvest. News Inform.*, **4**, 85N～89N (1993)
- 6) KITAZAWA, H., MOTOKI, S., MAEDA, T., ISHIKAWA, Y., HAMAUZU, Y., MATSUSHIMA, K., SAKAI, H., SHIINA, T. and KYUTOKU, Y.: Effects of storage temperature on the postharvest quality of three asparagus cultivars harvested in spring, *J. Jpn. Soc. Hort. Sci.*, **80**, 76～81 (2011)
- 7) LILL, R. E., BORST, W. H. and IRVING, D. E.: Tiprot in asparagus: effect of temperature during spear growth, *Postharvest Biol. Tec.*, **8**, 37～43 (1996)
- 8) 八鍬利郎：アスパラガス（地域資源活用食品加工総覧 第10巻 素材編），農文協，pp.19～32 (2000)
- 9) HERPPICH, W. B. and HUYSKENS-KEIL, S.: Cell wall biochemistry and biomechanics of harvested white asparagus shoots as affected by temperature, *Ann. Appl. Biol.*, **152**, 377～388 (2008)
- 10) LIPTON, W. J.: Postharvest biology of fresh asparagus, *Hortic. Rev. (Am. Soc. Hort. Sci.)*, **12**, 69～115 (1990)
- 11) 元木 悟：若茎の成分・品質と鮮度保持（農業技術体系野菜編8（2）タマネギ・アスパラガス），農文協，pp. 基48の2～基48の21 (2014)
- 12) Government of Canada, Canadian Food Inspection Agency, Guidance Document Repository, Food, Fresh Fruits and Vegetables, Quality Inspection, Asparagus, (<http://www.inspection.gc.ca/food/fresh-fruits-and-vegetables/quality-inspection/vegetable-inspection-manuals/asparagus/eng/1303751270575/1303751527307>)
- 13) 高柳 浩・山ノ井高洋：ファジィ論理とニューラルネットワークを用いたアスパラガスの形状判別，日本ファジィ学会誌，**9**（3），402～407 (1997)
- 14) 牛流清志：葉菜類その他の真空冷却（大久保増太郎編著：野菜の鮮度保持），養賢堂，pp.127～135 (1988)
- 15) 前田万里・太田英明・興座宏一・田島 眞：アスパラガス貯蔵中の破断応力変化と食物繊維含量変化との関連，近畿中国農研，**80**，46～49 (1990)
- 16) ZURERA, G., MÜÑOZ, M., MORENO, R., GONZALEZ, J. A., AMARO, M. A. and ROS, G.: Cytological and compositional evaluation of white asparagus spears as a function of variety, thickness, portion and storage conditions, *J. Sci. Food Agr.*, **80**, 335～340 (2000)
- 17) RENQUIST, A. R., LILL, R. E., BORST, W. H., BYCROFT, B. L., CORRIGAN, V. K. and O'DONOGHUE, E. M.: Postharvest life of asparagus (*Asparagus officinalis*) under warm conditions can be extended by controlled atmosphere or water feeding, *New Zeal. J. Crop Hort.*, **33**, 269～276 (2005)
- 18) MORRIS, L. and WATADA, A.: Elongation and bending of asparagus spears, *Calif. Agric.*, **14** (11), 15 (1960)
- 19) PAULL, R. E. and JUNG-CHEN, N.: Heat treatment prevents postharvest geotropic curvature of

- asparagus spears (*Asparagus officinalis* L.), *Postharvest Biol. Tec.*, **16**, 37~41 (1999)
- 20) LILL, R. E. : Storage of asparagus, *New Zeal. J. Exp. Agr.*, **8**, 163~167 (1980)
- 21) MOTOKI, S., KITAZAWA, H., KAWABATA, T., SAKAI, H., MATSUSHIMA, K. and HAMAIZU, Y. : Rapid rutin accumulation during spear elongation in asparagus, *HortSci.*, **47** (5), 599~602 (2012)
- 22) VILLANUEVA-SUAREZ, M. J., REDONDO-CUENCA, A., RODRIGUEZ-SEVILLA, M. D. and HEREDIA-MORENO, A. : Postharvest storage of white asparagus (*Asparagus officinalis* L.) : changes in dietary fiber (Nonstarch Polysaccharides), *J. Agric. Food Chem.*, **47** (9), 3832~3836 (1999)
- 23) 元木 悟 : 品種を選び、その特性を活かす (元木 悟・井上勝広・前田智雄編著 : アスパラガスの高品質多収技術), 農文協, pp.39~56 (2008)
- 24) 元木 悟・北澤裕明・酒井浩晃・松島憲一・濱渦康範 : 品種および収穫時期の違いが長期どり栽培されたアスパラガス (*Asparagus officinalis* L.) の破断応力およびルチン含量ならびにそれらの収穫後変化に及ぼす影響, *日食保蔵誌*, **38** (5), 271~276 (2012)
- 25) 漆崎末夫 : 農産物の鮮度保持, 筑波書房, p.190 (1988)
- 26) 岡部和広・大木 淳・工藤郁也 : アスパラガス収穫物の切り口を中心とした品質低下防止技術, *東北農業研究*, **60**, 207~208 (2007)
- 27) LILL, R. E., KING, G. A. and O'DONOGHUE, E. M. : Physiological changes in asparagus spears immediately after harvest, *Sci. Hortic.*, **44**, 191~199 (1990)
- 28) 北海道立総合研究機構 花・野菜技術センターホームページ, 鮮度保持に関する試験方法・項目 (http://www.agri.hro.or.jp/hanayasai/04hana_yasai_info/02youryou/fresh/veg/yasai.pdf)
- 29) 田村 晃・篠田光江 : アスパラガス長期どり栽培収穫物における糖と遊離アミノ酸含量の推移, *東北農業研究*, **56**, 219~220 (2003)
- 30) 板森敏宣・地子 立・植野玲一郎・中野雅章・目黒孝司 : ハウス立茎および露地普通栽培におけるグリーンアスパラガス若茎のBrix値とアスコルビン酸含量, *北海道立農試集報*, **98**, 51~54 (2006)
- 31) HEYES, J. A., BURTON, V. M. and DE-VRE L. A. : Cellular physiology of textural changes in harvested asparagus, *Acta Hortic.*, **464**, 455~460 (1998)
- 32) HARA, A. H., HATA, T. Y., HU, B. K-S. and TSANG, M. M. C. : Hot air induced thermo tolerance of red ginger flowers and mealy bugs to postharvest hot water immersion, *Postharvest Biol. Tec.*, **12**, 101~108 (1977)
- 33) VIGNEAULT, C., GOYETTE, B., GARIÉPY, Y., CORTBAOUI, P., CHARLES, M. T. and RAGHAVAN, V. G. S. : Effect of ear orientations on hydrocooling performance and quality of sweet corn, *Postharvest Biol. Tec.*, **43**, 351~357 (2007)
- 34) 元木 悟・前田智雄・鈴木尚俊・宮下和久・原 嘉胤・矢崎明美 : トンネルを利用したアスパラガス新品目 '生食用ホワイトアスパラガス' の特性と品種間差異, *長野野菜花き試報*, **15**, 30~38 (2013)
- 35) SALTVEIT, M. : Postharvest glyphosate application reduces toughening, fiber content, and lignification of stored asparagus spears, *J. Am. Soc. Hortic. Sci.*, **113**, 569~572 (1988)
- 36) POWERS, J. R. and DRAKE, S. R. : Effect of cut and field holding conditions on activity of phenylalanine ammonia lyase and texture in fresh asparagus spears (lignin formation), *J. Food Sci.*, **40**, 509~513 (1980)
- 37) 元木 悟 : 若茎の収穫 (農業技術体系野菜編 8 (2) タマネギ・アスパラガス), 農文協, pp.43~47 (2010)
- 38) REDONDO-CUENCA, A., VILLANUEVA-SUAREZ, M. J., RODRIGUEZ-SEVILLA, M. D. and HEREDIA-MORENO, A. : Changes in insoluble and soluble dietary fibre of white asparagus (*Asparagus officinalis* L.) during different conditions of storage, *J. Agr. Food Chem.*, **45**, 3228~3232 (1997)
- 39) 伊藤和彦 : 青果物の鮮度保持に関する研究, 第1報 グリーンアスパラガスの短期包装貯蔵, *北海道大学農学部邦文紀要*, **15**, 7~18 (1986)
- 40) SÁNCHEZ-PINEDA-INFANTAS, M. T., CANO-MÚÑOZ, G. and HERMIDA-BUN, J. R. : Blanching, Freezing and frozen storage influence texture of white asparagus, *J. Food Sci.*, **59**, 821~823 (1994)
- 41) SUSANA, C. F., FERNANDA, A. R. O. and JEFFREY, K. B. : Modelling respiration fresh fruits and vegetables for modified atmosphere packages : a review, *J. Food Engr.*, **52**, 99~119 (2002)
- (平成27年3月18日受付, 平成27年6月3日受理)