

栽培環境制御による生理的特性の解析に基づく野菜類の高付加価値化に関する研究

誌名	日本食品保蔵科学会誌
ISSN	13441213
著者名	元木, 悟
発行元	日本食品保蔵科学会
巻/号	48巻2号
掲載ページ	p. 79-84
発行年月	2022年3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



栽培環境制御による生理的特性の解析に基づく 野菜類の高付加価値化に関する研究

2021年度日本食品保蔵科学会学会賞

元木 悟*§

* 明治大学農学部

Research on Increasing Added Values of Vegetables Based on Analysis of Physiological Characteristics through Cultivation Environment Control

MOTOKI Satoru*§

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

Key words : asparagus (*Asparagus officinalis* L.), postharvest quality, nonusable parts, functional components, growth-inhibitory activity
アスパラガス, 収穫後品質, 未利用部位, 機能性成分, 生育阻害活性

1. はじめに

野菜は、栽培圃場で収穫後ただちに選別し、調製後に出荷される。野菜の収穫物は生産地や収穫期などによっては、鮮度保持のため生産地であらかじめ冷却され、鮮度を保持したまま保冷車で農産物市場まで運搬される。野菜は種類により利用部位や収穫する植物の生育期などが異なり、栽培環境が収穫後品質に影響する¹⁾。著者は、日本農業の生産および流通現場における諸問題を抽出し、それらを解決する技術開発に資することを目的とし、生理生態の解明や成長制御、育種、栽培、鮮度保持技術の確立などの研究にさまざまな角度から取り組んでいる。特にアスパラガスでは、安定生産技術の確立および新栽培法の開発、含有する機能性成分のフラボノイド類に及ぼす栽培環境要因の解析、収穫後の機能性成分の保持ならびに貯蔵条件に関し、生産から流通・消費まで高品質を得るための体系的な研究に取り組んできた。食品保蔵科学領域では、栽培環境制御による生理的特性の解析に基づく野菜類の高付加価値化に関する研究を行っている。本稿では、日本食品保蔵科学会学会賞の受賞対象となった研究の概要についてアスパラガスを事例に紹介したい。

2. 若茎の収穫後の品質変化

アスパラガスは人気の野菜であり、健康に有益なルチンやサポニンなどの機能性成分を多く含む^{2),3)}。国産のアスパラガス（おもにグリーンアスパラガス（以下、グリーン））は11月を除いて周年供給体制が整っており（図1）、端境期には海外から輸入される^{2),3)}。アスパラガスの栄養成分・機能性成分の含有量および物性は品種間差や季節ごとの変動などが大きい^{4),5)}、収穫期ごとに収穫直後からの鮮度保持に関する研究が必要である。ルチンとアスコルビン酸の含有量は、品種に関わらず、春どりが最も高く、夏秋どりおよび温度下降期を含め、貯蔵すると収穫直後と同等か減少する^{3),6)}。また、収穫後の破断応力の変化は、品種および収穫時期が大きく影響する^{3),6)}。収穫後の水分含有率やアスコルビン酸含有量などの減少には品種間差があり^{3),7)}、品質劣化しやすい品種は、若茎先端部の緩みの進行も早く^{3),7)}、2L級規格（太い若茎）の破断応力は、ほかの規格に比べて大きい³⁾。アスパラガスの若茎は収穫後も伸長し、その伸長量は水分および温度との関係が深く、切り口を水に浸けておいた場合や貯蔵温度が高い場合などが大きい^{3),8)}。そのような若茎の伸長は重量増加を伴い、糖やアスコルビン酸などの含有量の減少も大きい。アスパラガスの若

* 〒214-8571 神奈川県川崎市多摩区東三田1-1-1

§ E-mail : motoki@meiji.ac.jp

茎の成長は、垂直方向への伸長と屈曲であり、おもに水分の供給によって促進される^{3),8)}。

3. アスパラガスの代表的な機能性成分

ルチンはアスパラガスの抗酸化活性の75%に寄与し、擬葉に多く^{9)~11)}、若茎にはソバと同程度が含まれる^{2)~7),9)~13)}。ルチンは強壯作用や抗腫瘍活性などがあり、近年、その活用法に関心が高まっている^{2),3)}。また、プロトディオシンは、ガン細胞の増殖抑制や強心作用などがあり、ホワイトアスパラガスの可食部などのほか^{2),3),9),12)}、貯蔵根にもその類縁体(サポニン類)が含まれる^{10),11)}。しかし、それら成分の産出量が多い擬葉や貯蔵根などを有用成分資源の供給源として積極的に活用した事例はほとんどなく、アスパラガスの植物体各部位におけるルチンやプロトディオシンなどの有用成分資源の分布、栽培条件および環境制御の影響は未解明であった。

4. 栽培法による栄養成分・機能性成分の変動

著者は、アスパラガスの擬葉には、ルチンとともに、グリーンの若茎には含有しないプロトディオシンを同時に含むことを発見した(図2)^{1),9)}。ルチンは露地栽培のグリーンの若茎のみに含まれ、プロトディオシンは土寄せ軟白のホワイトの若茎に特異的に含まれていた^{3),9),12)}。植物工場の閉鎖型システム(図3)で栽培した擬葉では、露地栽培に比べて低い含有量のルチンと高い含有量のプロトディオシンが検出された(図2)^{1),9)}。そのため、環境制御によってルチンとプロトディオシンの含有量を増減できる可能性がある。また、アスパラガスでは、従来は廃棄していた規格外の長さの若茎にもルチンが豊富に含まれており¹³⁾、収穫適期を逸した若茎をルチンの有用成分資源として活用できる可能性がある。

作 型	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月
ハウス半促成長期どり栽培			春どり		夏秋どり							
ハウス半促成春どり栽培			春どり									
露地長期どり栽培						春どり		夏秋どり				
露地2季どり栽培						春どり		夏秋どり				
露地普通栽培						春どり						
伏せ込み促成栽培	伏せ込み											
採りつきり栽培				春どり(採りつきり)								

: 収穫
 : 株養成

図1 日本国内におけるアスパラガスのおもな作型(元木原図)

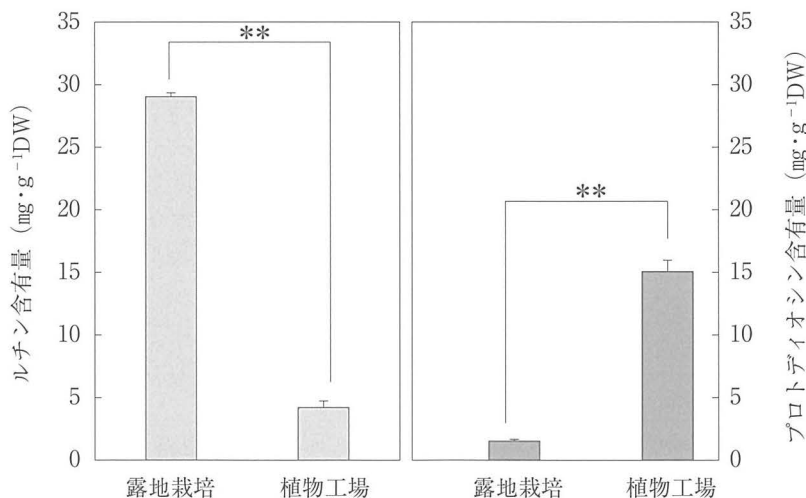


図2 アスパラガスの栽培法の相違による機能性成分の変動^{1),9)}

アスパラガスの擬葉に含まれるルチンおよびプロトディオシンの含有量は、地上部の栽培環境の光条件を制御することによりコントロールできる。縦棒は標準誤差を示す(n=3)。t検定により、**は1%水準で有意差あり。

5. 未利用部位の利用価値の創出

資源循環型社会の構築には、植物残渣など未利用部位の有効な利用法の開発が求められる。なかでもアスパラガスは未利用部位の産出量が大きく、その処理は世界的にも急務の課題である。未利用部位である擬葉は、栽培管理工程において秋季に定期的に刈りとられ²⁾、日本国内だけでも年間約130,000tに達するが⁹⁾、ごく一部が粉末として利用されるものの^{2),3)}、大半は農地に還元または廃棄される¹⁰⁾。なお、2019年の日本のアスパラガスの生

産量は27,000t（世界第8位）である（図4）¹⁴⁾。また、改植時に貯蔵根が地中に残存すると、そこから生育阻害物質が滲出して連作障害が発生することが知られており^{2),15)}、その対策を実施しなかった生産地が壊滅した事例も過去にみられる。貯蔵根をすべて除去すれば連作障害を回避できるが^{2),15)}、除去後の貯蔵根の無害化あるいは利用法は確立されていない。

(1) 未利用部位の網羅的分析

アスパラガスの未利用部位における有用成分資源としての利用の可能性を探るため、アスパラガスの植物体各

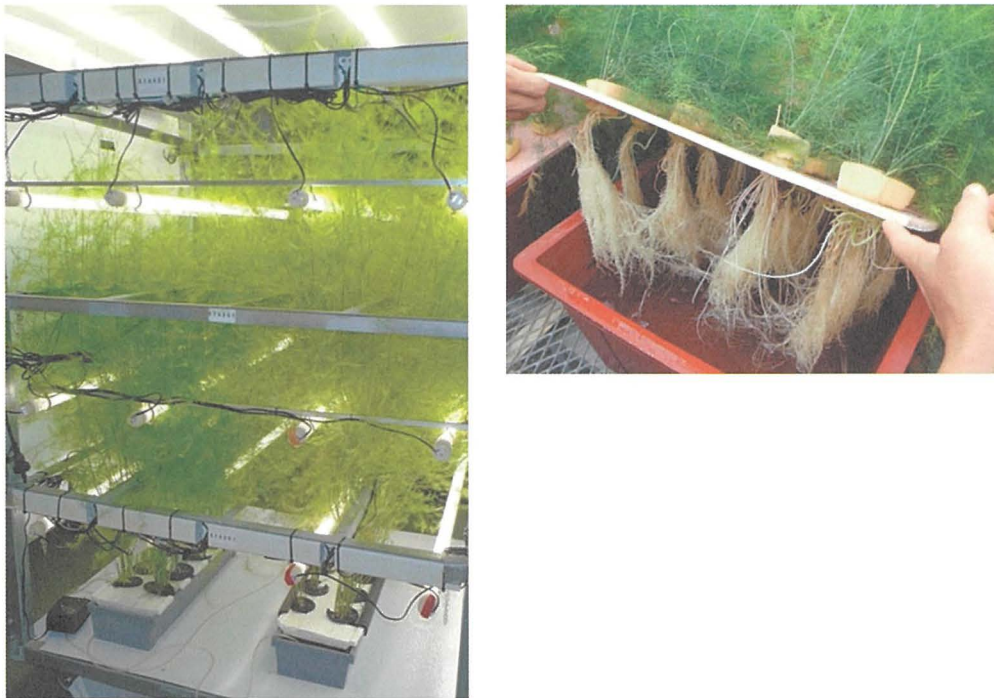


図3 植物工場の閉鎖型システムを使ったアスパラガスの水耕栽培（左）と地下部の様子（右）

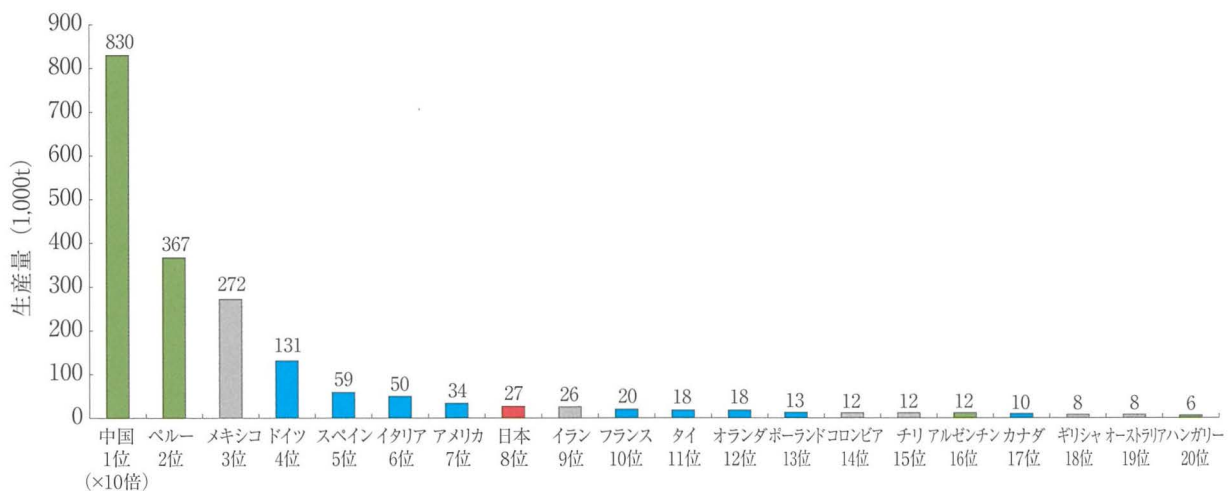


図4 世界におけるアスパラガスの生産量（2019年）

FAOSTAT Data¹⁴⁾を元に作図。アスパラガスの生産量が世界第20位までの国を記載。

赤色 (■) は日本、青色 (■) は著者の2019年の訪問国（ドイツ、スペイン、イタリア、アメリカ、フランス、タイ、オランダ、ポーランド、カナダ）、緑色 (■) は著者が過去に訪問した国（中国、ペルー、アルゼンチン、ハンガリー）。

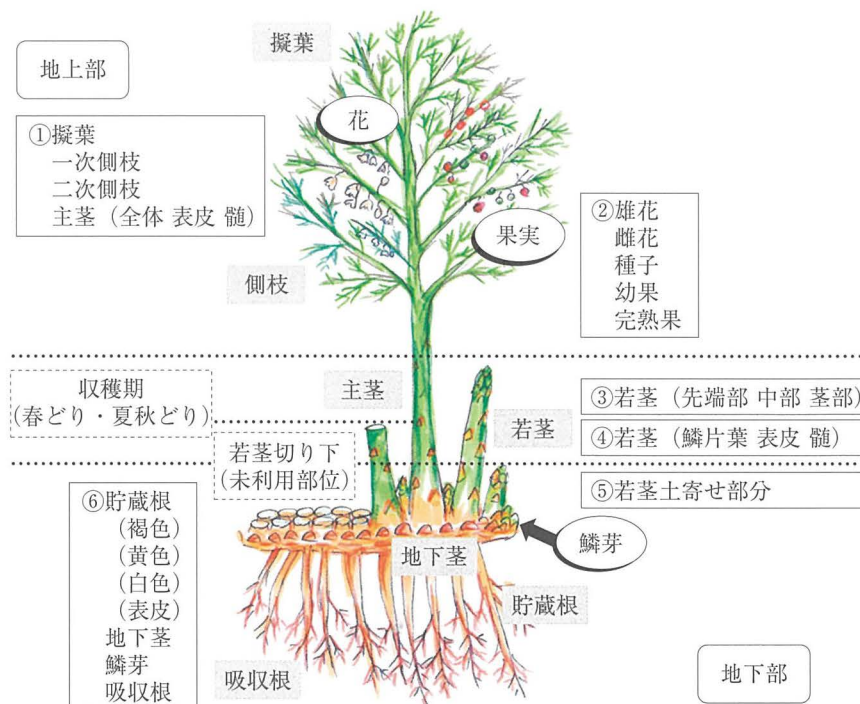


図5 アスパラガスの調査部位^{10), 11)}

部位 (図5) を網羅的に分析し、ルチンやプロトディオシンなどの有用成分資源の分布を明らかにした^{10), 11)}。

1) 機能性成分と生育阻害物質の分布 ルチンは擬葉を筆頭に貯蔵根の褐色根や表皮などに多く (表1) ^{10), 11)}、改植時の生育阻害物質の一つである可能性が示唆された。プロトディオシンは鱗芽に最も多く、地下部に多かった (表1) ^{10), 11)}。生育阻害活性にも部位間差が認められ、鱗芽や地下茎、吸収根、貯蔵根などで強く、擬葉や側枝などで弱いことが判明した (表1) ^{11), 16)}。茎葉刈りとり時に病虫害がなく完熟果による雑草化を防ぐことができた場合、地上部は生育阻害活性が弱く ^{11), 16)}、無機成分は翌年度の肥料成分として再利用できるため^{11), 16)}、地上部を廃棄せずに有機質資源としてすき込むことができる。一方、若茎先端部や鱗芽などは生育阻害活性が強かったことから^{11), 16)}、萌芽に直接関わる組織には生育阻害物質が多く含まれる可能性があるかと推察される。

2) 活性炭による生育阻害活性の軽減 改植時に貯蔵根が地中に残存すると、そこから生育抑制物質が滲出して連作障害が発生するが^{2), 15)}、活性炭を施用すると生育阻害が軽減される^{11), 16)~20)}。アスパラガス未利用部位のうち、生育阻害活性の強い部位については、活性炭により生育阻害活性が軽減されたことから^{11), 16)}、今まで廃棄されてきた未利用部位は、そのまま栽培圃場で再利用できる可能性がある。

(2) 未利用部位の利用の可能性

アスパラガスの地上部の未利用部位、特に擬葉や主茎などはルチンの供給源として、完熟果や種子などはプロ

トディオシンの供給源として有効利用できる可能性がある。一方、アスパラガスの地下部において、ルチンは貯蔵根の褐色根や表皮などに、プロトディオシンは鱗芽、若茎の土寄せ部分および地下茎に多く含まれ^{10), 11)}、それぞれの機能性成分の供給源として有効利用できる可能性がある。しかし、地下部は掘り上げる作業に手間がかかり²⁾、生育阻害物質が多く、改植に影響するという報告があることから^{2), 15)}、活性炭の併用^{11), 16)~20)}により未利用部位を有機質資源として栽培圃場で有効利用できる。アスパラガスの未利用部位である擬葉や貯蔵根などが有用成分資源として利用可能になった場合、生産に伴う植物残渣の廃棄物量の削減だけでなく、国内外のアスパラガスの生産現場でも急務の課題である連作障害^{2), 15)}の解決に繋がるものとする。本研究成果は、ほかの農作物の未利用部位にも応用でき^{17), 18)}、廃棄産物の新たな利用価値の創出は、生産現場に役立つ栽培技術として発展する可能性がある。

6. おわりに

野菜の品質は、地上部の栽培環境が大きく影響するとともに、土壌の理化学的や微生物相などの地下部の栽培環境も影響する¹⁾。さまざまな環境条件の変化にも対応できるよう、今後も専業農家のレベルで実際に栽培して検討するとともに、生産現場とも連携しながら、実際の生産、流通および消費にあわせて、栽培環境制御による生理的特性の解析に基づく野菜類の高付加価値化に関する研究に取り組んでいきたい。

表1 アスパラガスの植物体各部位における生育阻害活性, 無機成分および機能性成分の含有量, 水分含有率の分布¹⁾

調査部位	採取時期 (年月日)	生育阻害活性 (%)		無機成分 (%DW)					ルチン ²⁾ 含有量 (mg·g ⁻¹ DW)	プロトディオシン ²⁾ 含有量 (mg·g ⁻¹ DW)	水分 ²⁾ 含有率 (%)
		幼根	胚軸	N	P	K	Ca	Mg			
擬葉	2012.6.10	28.3 f ^v	19.6 cde	3.4	0.28	2.2	0.71	0.19	20.456 a	ND ^x	71.9 j
1次側枝	2012.6.10	51.1 def	2.6 e	1.9	0.19	2.5	0.21	0.08	2.928 de	0.026 f	77.1 i
2次側枝	2012.6.10	44.7 ef	17.6 cde	2.2	0.18	2.2	0.35	0.10	5.655 c	0.027 f	70.9 j
主茎 (全体)	2012.6.10	52.8 def	-4.2 e	1.7	0.23	3.3	0.07	0.05	2.431 ef	0.027 f	83.5 fgh
主茎 (表皮)	2012.6.10	64.3 bcdef	5.7 e	1.6	0.26	3.5	0.09	0.06	ND	0.033 f	86.7 cdef
地上部 主茎 (髄)	2012.6.10	27.5 f	-1.7 e	1.1	0.09	1.8	0.09	0.06	9.718 b	0.046 f	63.4 k
雄花	2012.5.27	60.3 cdef	11.6 de	4.5	0.63	3.9	0.40	0.25	4.095 cd	0.088 f	85.2 defg
雌花	2012.5.27	- ^w	-	-	-	-	-	-	-	-	84.9 efg
幼果	2012.6.25	82.1 abcd	66.3 abcd	3.2	0.48	2.6	0.25	0.18	1.889 efg	3.792 c	88.3 cde
完熟果	2012.9.5	42.1 ef	22.4 bcde	2.6	0.61	2.6	0.05	0.13	-	-	54.2 l
種子 ^v	2012.5.21	40.5 ef	26.9 bcde	3.6	0.44	0.6	0.03	0.18	ND	5.487 b	6.5 m
先端部 (春どり)	2012.5.2	88.1 abc	82.1 a	6.3	1.02	3.7	0.27	0.17	3.160 de	ND	89.6 bc
先端部 (夏秋どり)	2012.6.25	89.3 ab	83.5 a	6.1	1.00	4.1	0.12	0.17	-	-	91.9 ab
基部 (春どり)	2012.5.2	79.7 abcd	64.6 abcd	4.0	0.63	3.2	0.25	0.15	0.766 gh	0.061 f	93.2 a
基部 (夏秋どり)	2012.6.25	82.6 abcd	67.3 abc	2.8	0.49	3.0	0.05	0.09	-	-	93.5 a
鱗片葉 (春どり)	2012.5.11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	85.6 defg
表皮 (春どり)	2012.5.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	89.5 bc
髄 (春どり)	2012.5.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	93.3 a
若茎土寄せ部分	2012.6.10	72.3 abcde	51.0 abcde	1.3	0.28	3.4	0.10	0.05	ND	3.870 c	82.5 gh
鱗芽	2012.6.10	92.3 a	88.8 a	2.7	0.44	3.4	0.33	0.14	0.631 gh	7.514 a	84.7 fg
地下茎	2012.6.10	88.4 abc	83.9 a	1.6	0.62	5.9	0.69	0.11	ND	3.022 d	79.8 hi
貯蔵根 (白色)	2012.6.10	80.9 abcd	65.7 abcd	4.0	0.57	3.7	0.40	0.11	0.243 h	1.141 e	89.9 bc
貯蔵根 (黄色)	2012.6.10	85.2 abc	73.8 ab	3.1	0.47	2.9	0.44	0.15	1.116 fgh	1.509 e	89.7 bc
貯蔵根 (褐色)	2012.6.10	84.8 abc	70.6 abc	2.7	0.29	2.2	0.58	0.17	3.008 de	0.942 e	88.4 cd
貯蔵根 (表皮)	2012.6.10	64.3 bcdef	23.1 bcde	1.5	0.31	0.7	0.48	0.18	3.242 de	0.028 f	63.7 k
吸収根	2012.6.10	89.8 ab	82.6 a	1.6	0.62	5.9	0.69	0.11	-	-	-

¹⁾ 先行研究 (MOTOKIら, 2019)¹⁰⁾ 参照。

²⁾ Tukey-Kramerの多重比較検定により, 異符号間に5%水準で有意差あり (n=3~6)。生育阻害活性および水分含有率は, アークサイン変換後に統計処理を行った。

^{x)} 不検出。

^{w)} 未調査。

^{v)} 2011年産の購入種子を2012年5月21日に凍結乾燥した。

謝 辞 2021年度日本食品保蔵科学会学会賞の受賞に際し, ご推薦いただきました大阪府立大学大学院生命環境科学研究科今堀義洋教授, 山口大学山内直樹名誉教授, 信州大学学術研究院農学系濱渦康範教授をはじめ, ご高配を賜りました学会関係者の皆様に謹んで御礼申し上げます。今回の受賞を励みに, より一層研究に精進して参りたいと存じます。近い将来, 多くの皆様と魅力的な共同研究ができることを望んでいます。今後ともご指導ご鞭撻を賜りますよう, よろしくお願い申し上げます。最後に, 研究の遂行にあたり, これまでご助力賜りました共同研究者の皆様, 明治大学農学部農学科・野菜園芸学研究室の専攻学生諸氏, そして研究を支えていただきました多くの方々に, この場をお借りして厚く御礼申し上げます。

文 献

- 1) 元木 悟: 第5章 栽培環境と収穫後品質 1. 青果物の栽培環境条件が収穫後の品質に及ぼす影響 2) 野菜, 山内直樹・今堀義洋編, 園芸利用学 (文英堂出版, 東京), pp.119~124 (2021)
- 2) 元木 悟 (編著): 世界と日本のアスパラガス—国際化時代の日本のアスパラガス栽培— (養賢堂, 東京), p.321 (2016)
- 3) 元木 悟: 生育ステージと生理, 生態 若茎の成分・品質と鮮度保持, 加工利用と流通および販売戦略, 農山漁村文化協会編, アスパラガス大事典 (農山漁村文化協会, 東京), pp.107~149 (2021)
- 4) MAEDA, T., KAKUTA, H., MOTOKI, S., SONODA, T., MAEKAWA, K., SUZUKI, T. and OOSAWA, K.:

- Differences in antioxidative polyphenols contents of asparagus related to cultivars and seasonal change under various cultural conditions of the mother-fern culture, *Acta Hort.*, **776**, 227~233 (2008)
- 5) MOTOKI, S., MATSUNAGA, K., MAEDA, T. and KUTSUZAWA, T.: Selection of asparagus cultivars for cold areas of Japan, *Acta Hort.*, **776**, 357~366 (2008)
- 6) 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アスパラガス (*Asparagus officinalis* L.) の破断応力およびルチン含量に及ぼす影響, *日食保蔵誌*, **38**, 271~276 (2012)
- 7) 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. Japan. Soc. Hort. Sci.*, **80**, 76~81 (2011)
- 8) 樋口洋子・柘植一希・北條怜子・元木 悟: 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, *日食保蔵誌*, **41**, 155~163 (2015)
- 9) MOTOKI, S., KITAZAWA, H., MAEDA, T., SUZUKI, T., CHIJI, H., NISHIHARA, E. and SHINOHARA, Y.: Effects of various asparagus production methods on rutin and protodioscin contents in spears and cladophylls, *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, **76**, 1047~1050 (2012)
- 10) MOTOKI, S., TANG, T., TAGUCHI, T., KATO, A., IKEURA, H. and MAEDA, T.: Distribution of rutin and protodioscin in different tissue parts of asparagus (*Asparagus officinalis* L.), *HortScience*, **54**, 1921~1924 (2019)
- 11) MOTOKI, S., TAGUCHI, T., KATO, A., INOUE, K. and NISHIHARA, E.: Distribution of growth-inhibitory activity, mineral contents and functional components in different tissue parts of asparagus (*Asparagus officinalis* L.) and availability of nonusable parts, *HortScience* (2021) (<https://doi.org/10.21273/HORTSCI16057-21>) (2021年11月4日アクセス)
- 12) 加藤綾夏・田口 巧・元木 悟: アスパラガスの1年養成株全収穫栽培法における軟白の有無および異なる軟白法が若茎の収量および品質に及ぼす影響, *園学研*, **18**, 407~416 (2019)
- 13) MOTOKI, S., KITAZAWA, H., KAWABATA, T., SAKAI, H., MATSUSHIMA, K. and HAMAUZU, Y.: Rapid rutin accumulation during spear elongation in asparagus, *HortScience*, **47**, 599~602 (2012)
- 14) FAOSTAT Data, The Food and Agriculture Organization (FAO) (http://www.fao.org/faostat/en/#rankings/countries_by_commodity) (2021年8月23日アクセス)
- 15) 元木 悟・西原英治・北澤裕明・平館俊太郎・篠原温: 沖積土壌におけるアスパラガスの連作障害に対するアレロパシーの関与, *園学研*, **5**, 431~436 (2006)
- 16) TANG, T. and MOTOKI, S.: Differences in growth-inhibitory activity among different parts of asparagus and the effects of activated carbon on its reduction, *Acta Hort.*, **1223**, 257~262 (2018)
- 17) 西原英治・元木 悟: 活性炭の農業利用 土壌浄化の新技术 (農山漁村文化協会, 東京), p.242 (2009)
- 18) 元木 悟・西原英治・高橋直志・HERMANN L.・篠原温: 育苗時の活性炭添加によるアレロパシー軽減効果, *園学研*, **6**, 603~609 (2007)
- 19) 元木 悟・西原英治・北澤裕明・平館俊太郎・藤井義晴・篠原温: アスパラガス連作障害におけるアレロパシー回避のための活性炭の利用, *園学研*, **5**, 437~442 (2006)
- 20) 元木 悟・西原英治・平館俊太郎・藤井義晴・篠原温: 新規に開発した手法を利用したアスパラガス根圏土壌のアレロパシー活性測定法, *園学研*, **5**, 443~446 (2006)