

葉茎菜用セイヨウアブラナ（*Brassica napus* L.）および在来種「のらぼう菜」における遺伝的多様性の評価と高品質安定栽培技術の確立

メタデータ	言語: ja 出版者: 公開日: 2020-07-30 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 柘植, 一希 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10291/20936

明治大学大学院農学研究科

2019年度

博士学位請求論文

葉茎菜用セイヨウアブラナ (*Brassica napus* L.)

および在来種「のらぼう菜」における

遺伝的多様性の評価と高品質安定栽培技術の確立

Assessment of genetic diversity and establishment

of high quality and stable yield cultivation

techniques in leaf-and-stem vegetable type

Brassica napus L. and its landrace (Norabona)

学位請求者 農学専攻

柘植 一希

目次

	緒 論	- 3 -
	第 1 章 葉茎菜用セイヨウアブラナの遺伝的多様性.....	- 9 -
	緒 言	- 9 -
5	材料および方法	- 10 -
	結 果	- 21 -
	考 察	- 54 -
	第 2 章 葉茎菜用セイヨウアブラナ在来種「のらぼう菜」の遺伝的多様性	- 60 -
10	緒 言	- 60 -
	材料および方法	- 60 -
	結 果	- 67 -
	考 察	- 81 -
	第 3 章 「のらぼう菜」の生産および流通現場における品質調査	- 85 -
15	緒 言	- 85 -
	材料および方法	- 89 -
	結 果	- 92 -
	考 察	- 99 -
	第 4 章 「のらぼう菜」の栽培技術の検討	- 104 -
20	第 1 節 主茎の摘心処理	- 104 -
	緒 言	- 104 -

	材料および方法	- 107 -
	結 果	- 112 -
	考 察	- 120 -
25	第 2 節 側枝の切り戻し処理	- 126 -
	緒 言	- 126 -
	材料および方法	- 129 -
	結 果	- 135 -
	考 察	- 144 -
30	第 5 章 「のらぼう菜」の鮮度保持技術の検討	- 147 -
	緒 言	- 147 -
	材料および方法	- 150 -
	結 果	- 152 -
	考 察	- 163 -
35	第 6 章 総合考察	- 168 -
	摘 要	- 176 -
	謝 辞	- 181 -
	引用文献	- 183 -

緒 論

1. アブラナ科アブラナ属のセイヨウアブラナ

アブラナ科アブラナ属の植物は、農業において重要な資源植物である。作付面積では、多い方から順に、キャベツ (*Brassica oleracea* L. var. *capitata*)、ハクサイ (*Brassica rapa* var. *pekinensis*)、ブロッコリー (*B. oleracea* L. var. *Italica*)、コマツナ (*B. rapa* var. *perviridis*)、カブ (*B. rapa* var. *rapa* or *glabra*)、ミズナ (*B. rapa* var. *laciniifolia*)、チンゲンサイ (*B. rapa* var. *chinensis*)、カリフラワー (*B. oleracea* L. var. *botrytis*) に代表される野菜類 (農林水産省, 2019) のほか、油料種子や香辛料などとしても利用される。アブラナ属の遺伝資源は多様であり、世界各地域から集められたサンプルについて、表現型の測定や遺伝子解析などを行うことで、その多様性が報告されてきた (Balkaya ら, 2005 ; Bird ら, 2017 ; Zhao ら, 2005 ; Zhu ら, 2018)。

アブラナ属の植物における遺伝的な類縁関係について、近年は、U (1935) の研究に基づいた A, B および C ゲノムの三角形で説明されることが多い。アブラナ属の植物のうちセイヨウアブラナ (*Brassica napus* L.) は、カブなどが属する *B. rapa* L. (AA, $2n=20$) と、キャベツなどが属する *B. oleracea* L. (CC, $2n=18$) から由来する 2 つの二倍体のゲノムを持つ、複二倍体 (異質四倍体) である (AACC, $2n = 4x = 38$) (U, 1935)。セイヨウアブラナは、ほかのアブラナ属の種と交配が可能であり、日本国内や中国などのセイヨウアブラナの系統育種には、現地の栽培環境に適応させることを目的に、現地の *B.rapa* の植物が育種に用いられた背景があり (Ma, 2000) , 中国では 50% 以上のセイヨウアブラナの系統は、*B.rapa* との交配種に由来するとされている (Liu, 1985) 。さらに、*B.rapa* と *B. oleracea* との胚培養によるセイヨウアブラナ系統の育成も行われており、セイヨウアブラナの多様性を増やすことを目的に研究が行われている (Gao ら, 2014 ; Guo ら, 2016) 。日本国内においては、コマツナとキャベツの胚培養により育成した ‘千宝菜’ と呼ばれる品種が販売されている (眞田・鏡,

65 1999) . しかし，セイヨウアブラナの起源は現在も議論の段階であり，明らかになっ
ていない．セイヨウアブラナは，世界的に利用されている作物の一つであり，利用用
途は，油料種子（冬作および春作タイプ），飼料用作物，生食用野菜としての葉茎菜
および根菜とさまざまである．そのなかでも，ナタネは，世界中で生産されている油
料種子のなかで，大豆に次ぐ 2 番目の生産量であり（USDA, 2017），油料種子として
70 の生産が顕著である．

2. 葉茎菜用セイヨウアブラナ

セイヨウアブラナは油料種子の生産が主体であるなか，野菜類として，葉，茎およ
び花を利用する葉茎菜（篠原，2014）も生産の対象となっており，多くの品種・系統
75 が存在する．しかし，葉茎菜として利用されるセイヨウアブラナは，自家消費やロー
カルマーケットでの販売などを目的として生産されている事例が多く，生産規模が小
さい．スペイン王国やポルトガル共和国などの地域では，セイヨウアブラナを自家消
費などの目的で栽培し，過去の研究（Cartea ら，2005；Soengas ら 2006, 2008）によ
り，遺伝的な類縁関係の解析や形態形質の分析などが行われてきた．日本国内でも，
80 九州から東北にかけての広い地域で，葉茎菜用セイヨウアブラナを食す文化が定着し
ている．農林水産省の分類では，葉茎菜用セイヨウアブラナを「なばな（主として葉
茎を食すもの）」（以下，葉茎タイプ）とし（農林水産省，2014），*B. rapa* の葉茎菜で，
おもに千葉県や香川県，徳島県などで生産されている「なばな（主として花を食すも
の）」（以下，花蕾タイプ）とは区別している．また，葉茎菜用セイヨウアブラナを「洋
85 種ナバナ」，*B. rapa* に分類される葉茎菜を「和種ナバナ」と呼ぶことで区別すること
もある（山川，2016）．葉茎菜用セイヨウアブラナとして分類される葉茎タイプの生産
量は，三重県が最も多く，次いで福岡県，新潟県の順である（平成 14 年度）（石田，

2004) . 本研究では、葉茎菜用セイヨウアブラナを、葉茎タイプとして生産され、市場に流通している葉茎菜とする.

90 日本国内の葉茎菜用セイヨウアブラナについては、過去の研究事例として、大川・小島 (2008) が、愛知県で栽培されている在来種を含む 9 品種・系統の抽苔・開花および側枝発生特性について調査し、品種・系統間に差異があることを報告した. また、奥山ら (1995) および加藤ら (1999) も、新品種の育成のため、3~4 品種の形態形質の比較を行い、供試した品種間の形態形質の違いについて報告している. しかし、キ

95 ャベツやハクサイ、ブロッコリーなどの葉茎菜については研究報告が多いものの、葉茎菜用セイヨウアブラナについては報告が少なく、日本国内の研究事例がほとんど見当たらない. そのため、葉茎菜用セイヨウアブラナにおける遺伝的な類縁関係や詳細な表現型の差異などは明らかになっていない. また、生産および流通現場においては、

(株) サカタのタネやタキイ種苗 (株) などの主要な種苗会社から販売されている商

100 業品種の数が極端に少なく、生産規模も小さいため、葉茎菜用セイヨウアブラナに関する情報量が少ない. そのため、収穫物が示す品質や栽培法なども学術的に明らかになっておらず、葉茎菜用セイヨウアブラナは、「野菜園芸学」の分野の品目のなかでも研究課題が多い品目であると考えられる.

105 3. 伝統野菜の研究について

葉茎菜用セイヨウアブラナは、生産および流通形態が確立していない地域が多い. 地域に在来する野菜類の品種には、空腹および栄養を満たす食べ物の側面があるだけでなく、その来歴や、地域の歴史、栽培と利用の文化などを伝えてきた文化財としての側面があるとされる (青葉, 2013; 江頭, 2013) . また、現在、日本国内で消費され

110 ている種子のほとんどは、種苗会社の管理によって、海外で採種が行われており、日本国内における採種は 1~2 割ほどとされる (阿部, 2015) . しかし、近年、地域で古

くから栽培されてきた野菜類のうち、地域の自治体や生産および流通に関わる人々などが、栽培地域や栽培歴などに独自の条件を設け、それらの保存と特産化を目指すようになり、その場合に称されるようになった「地域伝統野菜」が注目を集めている（阿部，2015）。葉茎菜用セイヨウアブラナの遺伝資源の一部においても、関東地方西部で栽培されている「のらぼう菜」や関東地方北部で栽培されている「かき菜」などのように、地域伝統野菜に登録された在来系統（遺伝資源）が存在する。そのような在来系統は、収穫物を元に製造した加工品が販売されるなど、地域の特別な農産物として利用されている。そのため、葉茎菜用セイヨウアブラナの有用な遺伝資源について、さらなる学術的な知見を見出すことができれば、地域のブランド化および普及（川崎市経済労働局，2015）につながる可能性もある。

4. 「のらぼう菜」について

葉茎菜用セイヨウアブラナの一つである在来種の「のらぼう菜」は、春季における重要な地域伝統野菜として、関東地方で栽培されている。「のらぼう菜」は、生産地域の一つである神奈川県により、近年、アブラナ属のなかでもセイヨウアブラナに分類されることが明らかになった（北浦ら，2006）。「のらぼう菜」の由来については、「のらぼう菜」という名称の成立について諸説あるものの、現在も明らかになっていない。埼玉県比企郡などでは、栽培を奨励する古文書が見つかっており（東京都あきる野市，2014），東京都あきる野市五日市地区の子安神社には、天明および天保の飢饉の際、救荒作物として人命を救ったことを伝える碑が存在するなど（椿，2009；山本，2009），多くの歴史的背景をもち、古くから関東地方で広く栽培されていたことが伺える。しかし、古い文献などが存在するものの、「のらぼう菜」の由来や成立過程などは不明であり、ほかの葉茎菜用セイヨウアブラナに比べて、「のらぼう菜」を特徴付ける形質なども明らかになっていない。

「のらぼう菜」の食味に関する含有成分としては、糖含量が葉部に比べて茎部に多く、グルコースの割合が最も高い。加えて、ホウレンソウ (*Spinacia oleracea*) に比べてフルクトースおよびグルコースの含量が多いことから (池田・増山, 2009), 甘味を比較的強く感じられる。また, アミノ酸のおもな組成ではグルタミン酸であり (曾我ら, 2017), うま味が比較的強いこと (曾我ら, 2019) も特徴的である。さらに, シュウ酸および硝酸含量もホウレンソウに比べて少なく, えぐみが少ないとされている (池田・増山, 2009)。「のらぼう菜」は生産量の多い花蕾タイプのような苦味やくせなどがないことが特徴であり (椿, 2009), お浸しや炒め物, 揚げ物, 生食サラダ, スムージーなど, 調理の用途が多様であることから (清水・田中, 2017; 椿, 2009), 地域の消費者からの支持が高い。

生産現場においては, 古くから「のらぼう菜」を栽培してきた生産者や JA 埼玉中央, JA あきがわなどの団体を中心に, 「のらぼう菜」を特産野菜として推奨し, 生産規模を拡大する取り組みが行われている。「のらぼう菜」の収穫は, 2 月下旬から開始され, 4 月に最盛期を迎え, 5 月に終了する (椿, 2009)。埼玉県比企郡における「のらぼう菜」の生産量は, 年間に 36 t 程度であり, 現在も増加し続けている (農林水産省, 2015)。しかし, 「のらぼう菜」は, 栽培地域の多くは自家採種により系統が維持されており, 地域および生産者により, 使用する品種・系統や栽培方法などが異なることから, 地域によっては販売物の形態や品質などにばらつきなどが見られる。それらの品質のばらつきは, 市場価値の低下のおもな要因の一つであり, 花蕾タイプ (*B. rapa*) の方が, 「のらぼう菜」を含む葉茎タイプ (葉茎用セイヨウアブラナ) に比べて, 出荷および流通形態が確立しているとともに, 高値で取引されている (石田, 2004)。また, 「三重ナバナ」が中心に栽培されている三重県の葉茎タイプの生産量は, 県全体で 700 t (農林水産省, 2014) と, 生産および流通形態が比較的確立しているのに対し,

「のらぼう菜」の生産規模は小さく、「のらぼう菜」は生産から流通にかけての課題が
160 多い。

5. 本研究の目的

以上から、(1) 葉茎菜用セイヨウアブラナの遺伝的な類縁関係や表現型の差異などが明らかになっていないこと、(2) 「のらぼう菜」の特徴が遺伝子型および表現型の
165 レベルで明らかになっていないこと、(3) 「のらぼう菜」の生産に関わる栽培法が統一されていないことなどのおもな課題が考えられた。それらの課題を受けて、本研究では、日本国内の葉茎菜用セイヨウアブラナの遺伝的多様性を解明するとともに、関東地方で集団を形成する「のらぼう菜」についての品質、遺伝的多様性（遺伝子型と表現型）、栽培法および鮮度保持方法について明らかにすることを目的とする。

緒 言

アブラナ科アブラナ属の野菜類は、農業において重要な資源植物である。アブラナ属の野菜類における遺伝資源の多様性は、地域から世界規模で集められたサンプルについて、表現型の測定や遺伝子解析などを行うことにより報告されてきた(Balkaya ら, 2005; Bird ら, 2017; Zhao ら, 2005; Zhu ら, 2018)。セイヨウアブラナ (*Brassica napus* L.) は、カブなどが属する *B. rapa* L. (AA, $2n=20$) と、キャベツなどが属する *B. oleracea* L. (CC, $2n=18$) から由来する 2 つの二倍体のゲノムを持ち、複二倍体で構成されている (AACC, $2n=4x=38$)。世界中で生産されている油料種子のなかでは、大豆に次いで 2 番目であり (USDA, 2017)、世界で広く栽培されている。一方、セイヨウアブラナは葉茎菜または根菜として消費することもある。しかし、油料種子はセイヨウアブラナにおいて最も重要な利用用途であり、葉茎菜および根菜を含むセイヨウアブラナの野菜類は、消費量が少ない。

セイヨウアブラナの野菜類は、研究例が少ないものの、集団の多様性について、遺伝子型および表現型のレベルで解析した事例がいくつかある。Hasan ら (2006) は、マイクロサテライト (SSR) マーカーを用い、セイヨウアブラナの野菜類の集団における遺伝子型を解析した。その結果、セイヨウアブラナの野菜類の集団は遺伝的多様性の指数が高いことを報告した。次に、根菜用を除く葉茎菜用セイヨウアブラナの報告において、Cartea ら (2005) は、スペイン北西部から集めた葉茎菜用セイヨウアブラナの在来種と、イギリスから集めた葉茎菜用セイヨウアブラナ (rape kale) などのサンプルの遺伝子型を、RAPD (random amplified polymorphic DNA) マーカーを用いて解析した。その結果、スペイン北西部で栽培されている葉茎菜用セイヨウアブラナの在来種は、ヨーロッパのほかの地域のセイヨウアブラナの集団から独立した起源を持

つ可能性を示唆した。また、Soengasら(2006, 2008)も、葉茎菜用セイヨウアブラナの在来種について、同様にスペイン北西部と、加えてポルトガル北部の集団を調査しており、形態形質およびSSRマーカーを用いて遺伝子解析を行った。その結果、それらの集団の遺伝的な差異は、原産地や育種過程など、または、栽培化の過程などが反映されているものと結論づけた。

日本国内では、葉茎菜用セイヨウアブラナを食す文化が定着しており、春先に株から抽出する花茎をおもに食す。農林水産省の分類では、*Brassica rapa* L.の葉茎菜を、「なばな(主として花を食すもの)」(花蕾タイプ)とするのに対し、葉茎菜用セイヨウアブラナの多くを、「なばな(主として葉茎を食すもの)」(葉茎タイプ)としている。国内の葉茎菜用セイヨウアブラナにおける過去の研究事例として、大川・小島(2008)が、愛知県で栽培されている在来種を含む9品種・系統の抽苔・開花および側枝発生特性について調査し、それらの形質には品種・系統間差があることを報告した。また、奥山ら(1995)や加藤ら(1999)なども、新品種の育成のため、3~4品種の形態形質の比較を行い、形態形質の違いについて報告している。しかし、葉茎菜用セイヨウアブラナにおける日本国内の品種・系統に着目し、日本国内で構成される集団の遺伝的多様性を評価した報告は見当たらない。

本章では、国内における葉茎菜用セイヨウアブラナの遺伝的多様性を明らかにすることを目的に、表現型およびSSRとSNP(single nucleotide polymorphism)マーカーに基づく遺伝子型の解析を行った。

材料および方法

1. 供試材料

日本国内の葉茎菜用セイヨウアブラナの遺伝的多様性を明らかにすることを目的に、供試材料を、農業生物資源ジーンバンクと公的研究機関、市販品種、生産者およ

び流通現場から、葉茎菜用セイヨウアブラナを 54 品種・系統、葉茎菜用以外のセイヨウアブラナを 3 系統収集し、外群として、同じアブラナ属で別種の *B. rapa* を 3 品種・系統収集し、計 60 系統 (MBN-1~MBN-60) を供試した (第 1-1 表)。収集した系統の国内での原産は北海道から福岡県である。また、表現型の調査では、植物体調査に 28 品種・系統、花茎調査に 22 品種・系統を供試した。

2. 遺伝子型における多様性評価 (SSR 解析)

DNA の抽出は、各サンプルの幼葉から、DNeasy プラントミニキット (Qiagen, Hilden, Germany) の標準プロトコールを参考にして行った。サンプルは、1 個体につき 1 枚の幼葉を選んで分析に用いた。SSR マーカーは、Chen ら (2017) により、計 502 個のアブラナ属の SSR マーカーから、原産地や由来などが異なるオオミナタネ (日本)、ミチノクナタネ (日本)、アサヒナタネ (日本)、CASCADE (アメリカ合衆国)、ハンブルグ 1 号 (ドイツ共和国)、WESRSAR (MBN-57; 第 1-1 表)、PROTA (ドイツ共和国) および RAPORA (大韓民国) の計 8 品種・系統 (以上の品種・系統名は志賀 (1971) に基づく) に対して事前にスクリーニングを行うことにより得られたマーカーに基づいて、明瞭で再現性があり、多型が認められた計 30 個を選んだ (第 1-2 表)。SSR 遺伝子座の A および C ゲノムの数は、それぞれ 18 および 12 個であった。PCR 反応では、DNA テンプレート 10 ng, 1×KAPA 2G バッファー, dNTP 200 nM, MgCl₂ 0.5 mM, 0.1U KAPA 2G Fast DNA ポリメラーゼ (KAPA Biosystems, Inc.), 2 μM のリバースプライマーおよび 0.5 μM のフォワードプライマーを含む 10 uL の反応溶液を用いた。なお、フォワードプライマー配列の 5'末端に 4 つの蛍光標識 (6-FAM, VIC, NED および PET) を付加した (Shimizu・Yano, 2011)。PCR 反応は、C1000 サーマルサイクラー (Bio-Rad Laboratories, Inc.) において、初期変性で 94°C を 3 分間行い、続いて 94°C の 20 秒, 54°C の 30 秒および 62°C の 30 秒を 40 回, 94°C の 20 秒, 49°C の 10 秒および 72°C の 5 秒を 3 回、そして最後に 72°C の 10 分とした。増幅産物は、GeneScan-600LIZ

size standard (Applied Biosystems, Inc.) とともに, DNA アナライザー (model 3130xl, Applied Biosystems, Inc.) を用いて評価し, GeneMapper (Applied Biosystems, Inc.) で断片長を測定した.

245 遺伝的多様性指数, 分子分散分析 (AMOVA) およびサンプル間の Nei の遺伝的距離 (Nei ら, 1983) は, GenAlEx 6.502. (Peakall・Smouse, 2012) を用いて計算した. 遺伝的多様性指数については, 異なる対立遺伝子数 (N_a), 有効な対立遺伝子数 (N_e), Shannon の多様度指数 (I), ヘテロ接合度の観測値 (H_o) およびヘテロ接合度の期待値 (H_e) を各マーカーに対して算出した. 各マーカーの多型情報含有値 (PIC) は, 250 Microsatellite tool kit (Park, 2001) で算出した. UPGMA (非加重結合) 系統樹は, PowerMarker (Liu・Muse, 2005) で得られた Nei の遺伝的距離 (Nei, 1983) に基づき, MEGA 10.0 (Tamura ら, 2013) を用いて作成した. Structure 解析は, STRUCTURE 2.3.4 (Pritchard ら, 2000) を用いて行った. Structure 解析では, サンプルの遺伝構成が K 個の祖先由来であることを推定し, 最適な K 値を求める. 解析では, マルコフ連鎖モンテカルロ (MCMC) 法を実行する反復回数と燃焼期間を 100,000 回行い, $K = 1$ から 255 15 まで解析し, K の値につき 10 回反復した (Mazzeo ら, 2019). 最適なクラスター数 ΔK の算出は, Evanno (2005) に基づき, STRUCTURE HARVESTER (Earl・vonHoldt, 2012) を用いて算出した.

3. 遺伝子型における多様性評価 (SNP 解析)

260 DNA の抽出の方法は SSR 解析と同様である. dd-RAD-Seq (double-digest restriction site-associated DNA) 分析において, 得られた増幅物のサンプルに対し, 2 種類の制限酵素 (*PstI* および *MseI*) で切断したのち, 切断末端にアダプターを付加し, 未反応の短鎖 DNA (<300 bp) を除くために磁気ビーズによる精製を行った. 精製した DNA は, 各個体を識別するためのタグ配列を持つプライマー (Shirasawa ら, 2016) を用い 265 て, 精製した DNA を鋳型とした PCR を行った. PCR 反応では, DNA テンプレート

0.4 ng, 0.2 μ M の各リバーズおよびフォワードプライマー (1 ミックスにつき 1 ペア
ー), 1 \times PCR バッファー (KOD-plus-Ver. 2; 東洋紡 (株)), dNTP 160 nM, MgSO₄
1 mM および 1 U DNA ポリメラーゼ (KOD-plus; 東洋紡 (株)) を含む 50 uL の反
応溶液を用いた. PCR 反応は, 初期変性で 95°C を 3 分間行い, 続いて 94°C の 30 秒,
270 55°C の 30 秒および 72°C の 60 秒を 20 回, そして最後に 72°C の 3 分とした. 増幅断片
は混合し, 自動 DNA 断片ゲル抽出装置 (BluePippin; Sage Science) により, 300 bp 対
から 900 bp 対の長さの DNA を分画して回収した. その後, 次世代シーケンサー
(HiSeq4000; イルミナ (株)) を使用して 1 レーンの配列解析を実施し, 100 bp の
ペアエンド配列データを得た. 配列データは, PRINSEQ (Schmieder・Edwards, 2011)
275 および fastx_clipper (http://hannonlab.cshl.edu/fastx_toolkit) の各プログラムを使用して
品質で精査したのち, Bowtie2 プログラム (Langmead・Salzberg, 2012) を使用して,
セイヨウアブラナのリファレンスのゲノム配列 (配列名は v4.1 ;
<https://plantgarden.jp/ja/list/t3708/genome/t3708.G001>) にマッピングし, SAMtools プロ
グラム (Li ら, 2009) の mpileup コマンドで SNP 候補をコールした.
280 得られたデータについて, 遺伝的多様性指数および分子分散分析は, PGDspider
2.1.1.5 (Lischer・Excoffier, 2012) により, SNP データを含む VCF ファイルを, ソフ
トウェアの入力ファイル形式に変換し, GenAlEx 6.502.を用いて計算した (Basak ら,
2019). UPGMA 系統樹は, Tassel 5 に含まれる, Endelman・Jannink (2012) を参考に
した遺伝的距離に基づく系統樹作成プログラムを用いて解析し, MEGA 10.0 を用いて
285 作成した. Structure 解析は, SSR 解析と同様, STRUCTURE 2.3.4 を用いて行った. 解
析では, MCMC 法を実行する反復回数と燃焼期間を 10,000 回行い, K = 1 から 15 ま
で解析し, K の値につき 5 回反復した (Yang ら, 2016). 最適なクラスター数 ΔK の
算出は, SSR 解析と同様である.

4. セイヨウアブラナのコアコレクションを含めた解析

290 葉茎菜用セイヨウアブラナを中心とする 60 品種・系統のセイヨウアブラナ全体に
おける多様性を比較することを目的に、農業生物遺伝資源ジーンバンクのセイヨウア
ブラナのコアコレクションで構成される計 138 品種・系統（以下、コアコレクション）
のデータ（Chen ら，2017）を解析に使用した（第 1-3 表）。SSR 解析の結果では，主
座標分析（PCoA）を，Nei の遺伝的距離に基づき，GenAlEx 6.502.を用いて行い，SNP
295 解析では，主成分分析（PCA）を，Tassel 5 に含まれる，Endelman・Jannink（2012）を
参考にした遺伝的距離に基づく主成分分析プログラムを用いて行った。また，SSR お
よび SNP 解析の結果を比較するため，Mantel 検定により，それぞれの解析法で求めら
れた遺伝的距離行列の相関関係を，GenAlEx 6.502.を用いて行った。

5. 表現型における多様性評価

300 収集した 60 品種・系統のうち，植物体調査で 28 品種・系統，花茎調査で 22 品種・
系統を栽培して表現型の調査を行った（第 1-1 表）。栽培は，明治大学生田キャンパ
ス内の露地圃場（神奈川県川崎市，標高 60 m，淡色黒ボク土，pH 6.4，EC 0.09 ds·m⁻²
¹）で，2017 年 9 月～2018 年 4 月に行った。表現型は，植物体全体および利用部位と
なる花茎の形態について調査した。

305 1) 植物体の形態調査

育苗は，2017 年 9 月 29 日にハウス内で 72 穴セルトレイに播種し，定植の 10 月 23
日まで行った。栽植様式は，株間 30 cm，畝幅 80 cm，条間 30 cm の 3 条植えとし，
黒色マルチを土壌表面に被覆した。施肥は，基肥として N: P₂O₅: K₂O=15: 20: 15 k-
g·10a⁻¹を施用した。試験区は，1 品種・系統につき 6 個体の 2 反復とした。調査は，
310 すべての品種・系統において平均的に抽苔が開始した 3 月 1 日から 10 日に行った。
調査項目は，植物体の地上部の高さ（cm）を幅（cm）で割ることにより算出した草姿，
植物体の最下葉の元で測定した主茎の太さ（mm）を植物体重（g）で割って平準化し

た単位主茎径 (mm/g), 最大葉の葉幅 (cm) を葉幅の測定位置から葉先までの長さ (cm) で割ることにより算出した葉形比の測定項目に加え, 農林水産省の農林水産植物種類別審査基準 (http://www.hinshu2.maff.go.jp/info/sinsakijun/botanical_taxon.html) におけるアブラナ, ナタネ, カブおよび農業生物資源ジーンバンクの植物特性評価マニュアル (https://www.gene.affrc.go.jp/manuals-plant_characterization.php) におけるツケナを参考にして測定した, 葉数 (3 = 少~7 = 多; 植物体の葉数 (枚) を植物体重 (g) で平準化した値を参考にして評価), 葉柄の長さ (0 = 無~7 = 長; 最大葉の葉柄長 (cm; 特性審査基準_ナタネ) を葉長 (cm) で割った値に基づく), 葉柄・中助基部の幅 (3 = 狭~7 = 広; 最大葉を評価), 小葉数の多少 (1 = 無~4 = 多; 最大葉の小葉数 (枚; 特性審査基準_ナタネ) に基づく), 葉肉の厚さ (1 = 薄~3 = 厚; 最大葉を評価), 葉面の毛じ (1 = 無~7 = 多; 最大葉を評価), 鋸歯の多少 (1 = 無~7 = 多; 最大葉を評価), 葉の先端の反りの強弱 (1 = 無または極弱~7 = 強; 最大葉を評価), 葉の光沢の有無 (1 = 無, 9 = 有; 葉部の顕著な光沢の有無; 最大葉を評価), 葉の着色の有無 (1 = 無, 9 = 有; 葉部の顕著なアントシアニン着色の有無; 最大葉を評価) および抽苔性 (3 = 早~7 = 晩) の観察項目を含め, 計 14 項目で構成した (第 1-4 表) .

2) 花茎の形態調査

330 育苗は, 2017 年 9 月 29 日にハウス内で 128 穴セルトレイに播種し, 定植の 10 月 30 日まで行った. 栽植様式は, 株間 60 cm, 畝幅 80 cm, 条間 70 cm の 2 条植えとし, 黒色マルチを土壌表面に被覆した. 施肥は, 小田原ら (1990) の報告を参考に, 基肥として N: P₂O₅: K₂O = 15: 20: 15 kg · 10a⁻¹ を施用し, 追肥として N: P₂O₅: K₂O = 12: 0: 12 kg · 10a⁻¹ を 2 回に分けて施用した. なお, 追肥は主茎の伸長が始まる前で, 株が越冬
335 中の厳寒期に, 定植日から約 1 か月の間隔で, 12 月と 1 月に 1 回ずつ施用した. 栽培管理として, 主茎の摘心処理は, 株の抽苔によって主茎に 2~3 cm の節間が発生した

際に、主茎の上部から、主茎の本葉の 3 分の 1 に当たる葉数を除去した。試験区は、
1 品種・系統につき 5 個体の 2 反復とした。調査は、1 次側枝を対象とし、側枝の先端
で出蕾が確認された段階に行い、それぞれの品種・系統の生育に合わせて行った。前
340 述の主茎の除去後は、1 次側枝が 1 個体から 10~16 本発生した。収穫は、側枝の下部
に 1~3 葉 (5~10 cm 程度) 残るようにして一斉に収穫を行い、1 品種・系統につき、
全個体から集めた中庸な 1 次側枝計 10~20 本を測定に用いた。調査項目は、花茎の重
量 (g) を長さ (cm) で割って平準化した単位花茎重 ($g \cdot cm^{-1}$)、葉部の重量 (g) の
花茎の重量における比率として算出した葉重率 (%), 花茎の葉数 (枚) を長さ (cm)
345 で割って平準化した単位葉数 (枚/cm), 30 cm に切り揃えて測定した調製後花茎重
(g), 調製後葉重率 (%) および調製後葉数 (枚) の測定項目に加え、前述の農林水
産植物種類別審査基準におけるアブラナを参考に測定した、花茎の太さ (3 = 細~7 =
太; 30 cm に切り揃えた花茎切断面の茎径 (mm) に基づく), 花茎の着色 (2 = 無~
淡, 3 = 中, 5 = 濃), 小葉数の多少 (植物体の形態と同様), 葉面の毛じの有無 (1
350 = 無, 2 = 有; 葉面の顕著な毛じの有無), 鋸歯の多少 (植物体の形態と同様) およ
び葉の光沢の有無 (植物体の形態と同様) の観察項目を含め、計 12 項目で構成した
(第 1-4 表)。

3) 主成分分析

主成分分析は、エクセル統計 2013 ((株) 社会情報サービス) を用いて行った。す
355 べての表現型の項目においてデータが揃った品種・系統を対象に行い、植物体の形態
は 28 品種・系統、花茎の形態は 22 品種・系統に対して行った (第 1-1 表)。Rabbani
ら (1998) を参考に、データを標準化したのちに主成分得点を算出し、散布図を作成
した。

第1-1表 本研究で遺伝的多様性(遺伝子型および表現型)の解析に用いた品種・系統

番号	品種・系統名 ^a	分類 ^b	原産地		備考	表現型解析 ^c	
			(都道府県)	管理・入手先名 ^d		植物体	花茎
MBN-1	‘はるの輝’	A	岩手県	岩倉種苗店	-	○	-
MBN-2	かぶれ菜	A	福島県	農業生物資源ジーンバンク	JP番号: 37341	-	-
MBN-3	‘ちぢみかぶれ菜’	A	福島県	(株) トーホク	-	-	-
MBN-4	‘三陸つぼみ菜’	A	福島県	野口種苗研究所	-	○	○
MBN-5	川流れ	A	新潟県	農業生物資源ジーンバンク	JP番号: 26667	○	○
MBN-6	川流れ菜	A	新潟県	(株) トーホク	-	○	-
MBN-7	五月菜	A	新潟県	(株) トーホク	-	○	○
MBN-8	‘ちぢみ五月菜’	A	新潟県	(株) トーホク	-	-	-
MBN-9	かき菜	A	栃木県	(株) ウタネ	-	-	-
MBN-10	かき菜	A	栃木県	宇都宮種苗(株)	SNP除外	-	-
MBN-11	かき菜	A	栃木県	(株) トーホク	-	-	-
MBN-12	かき菜	A	栃木県	佐野市	-	-	-
MBN-13	芯切菜	A	栃木県	(株) トーホク	-	○	-
MBN-14	芯切菜	A	東京都, 神奈川県	農業生物資源ジーンバンク	JP番号: 25951	○	○
MBN-15	のらぼう菜	A	栃木県	(株) トーホク	-	-	-
MBN-16	宮内菜	A	群馬県	農業生物資源ジーンバンク	JP番号: 26668	○	○
MBN-17	宮内菜	A	群馬県	野口種苗研究所	-	○	-
MBN-18	のらぼう菜	A	埼玉県	野口種苗研究所	SNP除外	○	-
MBN-19	のらぼう菜	A	埼玉県	野原種苗(株)	-	-	-
MBN-20	のらぼう菜	A	埼玉県	比企郡嵐山町	-	-	○
MBN-21	‘ちりめん冬菜’	A	埼玉県	野口種苗研究所	-	○	○
MBN-22	のらぼう菜	A	東京都	八王子市	-	-	-
MBN-23	のらぼう菜	A	東京都	府中市	-	-	-
MBN-24	のらぼう菜	A	東京都	あきる野市	-	-	-
MBN-25	‘のらちゃん菜’	A	東京都, 神奈川県	(有) つる新種苗	-	○	○
MBN-26	川崎No. 1	A	神奈川県	川崎市農業技術支援センター	生産者から収集; ‘のらぼう菜’	-	-
MBN-27	川崎No. 2	A	神奈川県	川崎市農業技術支援センター	生産者から収集; ‘のらぼう菜’	-	-
MBN-28	川崎No. 3	A	神奈川県	川崎市農業技術支援センター	生産者から収集; ‘のらぼう菜’	-	-
MBN-29	川崎No. 4	A	神奈川県	川崎市農業技術支援センター	生産者から収集; ‘のらぼう菜’	-	-
MBN-30	川崎No. 5	A	神奈川県	川崎市農業技術支援センター	生産者から収集; ‘のらぼう菜’	-	-
MBN-31	川崎No. 6	A	神奈川県	川崎市農業技術支援センター	生産者から収集; ‘のらぼう菜’	-	○
MBN-32	川崎No. 7	A	神奈川県	川崎市農業技術支援センター	生産者から収集; ‘のらぼう菜’	○	○
MBN-33	川崎No. 8	A	神奈川県	川崎市農業技術支援センター	生産者から収集; ‘のらぼう菜’	-	-
MBN-34	川崎No. 9	A	神奈川県	川崎市農業技術支援センター	生産者から収集; ‘のらぼう菜’	○	○
MBN-35	川崎No. 10	A	神奈川県	川崎市農業技術支援センター	生産者から収集; ‘のらぼう菜’	-	-
MBN-36	川崎No. 11	A	神奈川県	川崎市農業技術支援センター	生産者から収集; ‘のらぼう菜’	-	-
MBN-37	川崎No. 12	A	神奈川県	川崎市農業技術支援センター	生産者から収集; ‘のらぼう菜’	-	-
MBN-38	川崎No. 13	A	神奈川県	川崎市農業技術支援センター	生産者から収集; ‘のらぼう菜’	-	-
MBN-39	川崎No. 14	A	神奈川県	川崎市農業技術支援センター	生産者から収集; ‘のらぼう菜’	○	-
MBN-40	川崎No. 15	A	神奈川県	川崎市農業技術支援センター	東京都旧五日市町から収集	-	-
MBN-41	川崎No. 16	A	神奈川県	川崎市農業技術支援センター	‘農林16号’に由来	-	-
MBN-42	川崎No. 17	A	神奈川県	川崎市農業技術支援センター	‘農林17号’に由来	-	-
MBN-43	川崎No. 18	A	神奈川県	川崎市農業技術支援センター	‘宮内菜’に由来	-	-
MBN-44	川崎No. 19	A	神奈川県	川崎市農業技術支援センター	-	-	-
MBN-45	川崎No. 20	A	神奈川県	川崎市農業技術支援センター	-	○	○
MBN-46	のらぼう菜	A	神奈川県	川崎市多摩区	SNP除外	-	-
MBN-47	長島在来1	A	三重県	農業生物資源ジーンバンク	JP番号: 220360	○	○
MBN-48	長島在来2	A	三重県	農業生物資源ジーンバンク	JP番号: 220361	○	○
MBN-49	ゆめ菜 ^e	A	岡山県	-	販売物より分析	-	-
MBN-50	博多な花おいしい菜 ^e	A	福岡県	-	販売物より分析	-	-
MBN-51	芯切菜	A	不明	農業生物資源ジーンバンク	JP番号: 25942	○	○
MBN-52	つみ菜	A	不明	農業生物資源ジーンバンク	JP番号: 26141	○	○
MBN-53	‘あでやかつぼみ菜’	A	-	野口種苗研究所	-	○	○
MBN-54	‘あまうまやわかかき菜’	A	-	(株) サカタのタネ	F ₁ 種	○	○
MBN-55	‘ネムロルタバガ’	B	北海道	農業生物資源ジーンバンク	JP番号: 41101; 根菜	○	-
MBN-56	‘大朝鮮’	B	福岡県	農業生物資源ジーンバンク	JP番号: 26348; 油料種子	○	○
MBN-57	‘WESTAR’	B	海外(カナダ)	農業生物資源ジーンバンク	JP番号: 40734; 油料種子	-	-
MBN-58	‘伏見寒咲花菜’	C	京都府	タキイ種苗(株)	SNP除外	○	○
MBN-59	‘黒川ちりめん’	C	-	(株) サカタのタネ	SNP除外	○	○
MBN-60	紅葉苔	C	-	(株) サカタのタネ	SNP除外	○	○

^a品種・系統名は、品種・系統名が同じである場合、結果の図表中には、市販品種の場合「(市販)」, 生産者から収集した品種・系統の場合「(生産者)」, 農業生物資源ジーンバンクの品種・系統は「(GB)」を記載した

^bAは葉茎菜用セイヨウアブラナ, Bは葉茎菜用以外のセイヨウアブラナ, Cは同じアブラナ属で別種のB. rapaを示す

^c生産者から収集した品種・系統は、市町村を示した

^d表現型の調査で主成分分析に用いた系統に「○」を示した

^e販売物の名称

第1-2表 SSRマーカー(30個)の連鎖群および遺伝的多様性指標^z

マーカー名	連鎖群	<i>Na</i>	<i>Ne</i>	<i>I</i>	<i>Ho</i>	<i>He</i>	PIC
BrGMS4031	A1	11	2.12	1.21	0.12	0.53	0.50
BrGMS4028	A1	3	2.24	0.94	0.08	0.55	0.49
BRAS084	A1	15	5.35	2.02	0.11	0.81	0.79
BrGMS1411	A2	5	1.82	0.91	0.08	0.45	0.42
BrGMS0667	A2	2	1.03	0.08	0.00	0.03	0.03
BrGMS2498	A3	3	1.60	0.67	0.08	0.38	0.34
sN2025	A4	8	2.74	1.45	0.05	0.64	0.61
BrGMS2252	A5	7	3.44	1.46	0.03	0.71	0.67
BrGMS0070	A5	18	9.49	2.50	0.06	0.89	0.89
BnEMS0753	A6	5	2.56	1.18	0.18	0.61	0.56
BrGMS3750	A6	3	2.06	0.78	0.03	0.51	0.40
BnEMS0620	A7	5	1.66	0.77	0.08	0.40	0.36
BrGMS3837	A7	6	1.27	0.52	0.08	0.21	0.21
BrGMS0742	A8	6	2.97	1.26	0.06	0.66	0.60
BnGMS0281	A9	6	2.13	1.04	0.06	0.53	0.49
BrGMS3857	A10	3	1.91	0.72	0.08	0.48	0.38
BrGMS3688	A10	5	3.16	1.30	0.15	0.68	0.64
BrGMS0086	A10	9	3.25	1.42	0.14	0.69	0.64
連鎖群Aの平均		6.67	2.82	1.12	0.08	0.54	0.50
BnGMS271	C1	5	2.48	1.08	0.02	0.60	0.52
BoGMS0660	C2	2	1.31	0.40	0.05	0.24	0.21
BoGMS2016	C2	18	7.31	2.31	0.21	0.86	0.85
BoEMS0016	C2	4	1.46	0.63	0.15	0.31	0.29
BnGMS0289	C3	6	2.19	0.99	0.05	0.54	0.47
BnGMS347	C4	3	1.95	0.71	0.02	0.49	0.38
BoGMS0037	C5	6	1.11	0.29	0.05	0.10	0.10
BoGMS1909	C6	6	1.53	0.78	0.03	0.35	0.33
BnGMS0353	C6	6	2.56	1.21	0.00	0.61	0.56
BoEMS0049	C7	2	1.70	0.60	0.03	0.41	0.33
BnGMS0336	C8	5	3.03	1.27	0.05	0.67	0.61
BoGMS0525	C9	4	1.50	0.65	0.39	0.33	0.31
連鎖群Cの平均		5.58	2.34	0.91	0.09	0.46	0.41
全体の平均		6.23	2.63	1.04	0.08	0.51	0.47

^z*Na* = 異なる対立遺伝子数, *Ne* = 有効な対立遺伝子数, *I* = Shannonの多様度指数, *Ho* = ヘテロ接合度の観測値, *He* = ヘテロ接合度の期待値, PIC = 多型情報含有値

第1-3表 本研究で遺伝的多様性(遺伝子型)の解析に用いたコアコレクションの品種・系統・系統(Chenら(2017)に基づく)

JP 番号	和名	英名	JP 番号	和名	英名	JP 番号	和名	英名
25942	芯切菜	SHIN KIRINA	26404	雑種	ZASSHU	37340		SHINKIRINA(KAKINA)
25951	芯切菜	SHIN KIRINA	26410	佛4号	FUTSU 4(FRANCE 4)	37341	かぶれ菜	KABULENA
26140	高系11号	KOUKEI 11	26416	水原種(帯化性)	SUIGENSHU(FASCINATION)	37397		C O NA
26141	つみ菜	TSUMINA	26417	苜蓿種	AZUMASHU	40676		JUNO
26144	ハンブルグ1号	HAMBURG 1	26418	一色2号	ISSHIKI 2	40679		GLOBAL
26149	なたね農林10号	NATANE NOURIN 10	26421	鴻種系1409	KOUSHUKEI 1409	40683		KARAT
26151	東北4号	TOUHOKU 4	26422	近畿早生	KINKI WASE	40687		GULLIVER
26157	東北12号	TOUHOKU 12	26426		WINTER RAPE MATADOR	40689		LERGO
26158	東北14号	TOUHOKU 14	26428	東海27号	TOUKAI 27	40694		RIDANA
26163	東北24号	TOUHOKU 24	26449	九州18号	KYUUSHUU 18	40696		ELENA(00)
26196	遠州黒種	ENSHUU KURODANE	26453	九州25号	KYUUSHUU 25	40702		ANJA
26203	ムツナタネ	MUTSUNATANE	26457	九州32号	KYUUSHUU 32	40704		EDITA
26205	バンダイナタネ	BANDAINATANE	26495	苜蓿種	AZUMASHU	40705		NURA
26210	北陸13号	HOKURIKU 13	26507	唐種(52)	TOUDANE(52)	40708		BISHOP
26211	北陸19号	HOKURIKU 19	26521		N.Z.CALDER SWEDE	40710		EMERALD
26214	スエヒロナタネ	SUEHIRONATANE	26524		N.Z.WYE SWEDE(CLUB ROOT RES)	40717		CERES
26229	苜蓿種	AZUMASHU	26528		WINTER RAPE GESSEN	40735		ATR RESISTANT TOWER
26238	苜蓿(肉色)	AZUMA(SALMON PINK)	26532		RAPE UNIT 13 PLANT 8	41101	ネムロルタバカ	NEMURO RUTABAKA
26244	なたね農林3号	NATANE NOURIN 3	26533		RAPE UNIT 15 PLANT 8	46073		N-404
26258	チカヤナタネ	CHISAYANATANE	26535		WINTER RAPE WEIBULLS 506	67872	東北72号	TOUHOKU 72
26259	アブラマサリ	ABURAMASARI	26538		CHIKUZENNATANE	67875	青三系-1	AOSANKHEI-1
26263	アサヒナタネ	ASAHINATANE	26556	チクゼンナタネ	MARIS HAPLONA	67876	郵脂5号	GUNSHI 5
26268	オオミナタネ	OOMINATANE	26577		ARTIFICIAL B.NAPUS II WINTER	67877	北系56-6-6	(CHOKUKEI 56-6-6-4
26273	近畿19号	KINKI 19	26581		NORDE	67881	70-34-114-3	70-34-114-3
26288	北陸16号	HOKURIKU 16	26591		LINUS	67884		B 23-1
26320		GAINMAA M(40)2-3-1-1	26592		RAPOL	67888	Blako	BLAKO
26327	中生朝鮮	NAKATE CHOUSEN	26598		LEMBKES	67891	Vertis	VERTIS
26330	三重黒種	MIE KURODANE	26599		LIHO-PETRA	67896		Z-E-N
26334	水原種	SUIGENSHU	26603		SPATS ZOLLERN GOLD	67897	青油2号	QUINGYOU 2
26336	京都苜蓿	KYOU TO AZUMA	26604		KOMET	67898	青油5号	QUINGYOU 5
26339	苜蓿種	AZUMASHU	26605		KRAPP HAUSER	67906	東北79号	TOUHOKU 79
26343	不二種	FUJISHU	26606		LEMBKES MALCHOWER	67909	カミキタナタネ	KAMIKITANATANE
26347	朝鮮種	CHOUSENSHU	26607		MALI	76713		LAULENTIAN
26349	大朝鮮33号	DAICHOUSEN 33	26610		LIFURA	76714		WILHELM SBURGER
26353	村山種	MURAYAMASHU	26613		DIAMANT	76716		ECD 07
26356	晩生	OKUTE	26625		POLNOSLASKI	76718		ECD 09
26358	青緑1号	AOMORI 1	26628		NUAPSKA	128131		KRASNOSELSKAYA
26361	六ツ美晩生	MUTSUMI OKUTE	26644		FERTODI	146915		CELEBRA
26365	糸島種	IOSHIMASHU	26647		CZ-YY-MAROC	146916		DELTA
26373	種1号	RU I(ROUMANIA 1)	26650		TOWER	146917		GOLDA
26379	仏7号	FUTSU 7(FRANCE 7)	26664		TARGET	146920		STALLION
26383		COLZA	26666	晩生つみなC O	BANSEI TSUMINA CO	146922		VANGUARD
26385		B.NAPUS RAPIFERA	26667	川流れ	KAWA NAGARE	146931		MONETA
26389	四石晩	YONKOKUBAN	26668	宮内菜	MIYAUCHI NA	207962	高系10号-2	KOUKEI 10-2
26391	伊勢黒種125号	ISE KURODANE 125	36289		BRIDGER	220360	長島在来1	NAGASHIMA ZAIRAI 1
26403	大朝鮮2号	DAICHOUSEN 2	36290		CASCADE	220361	長島在来2	NAGASHIMA ZAIRAI 2

第1-4表 表現型の調査項目²

調査項目	説明
<i>A. 植物体 (花茎を除く)</i>	
草姿	植物体の地上部の高さ (cm) と幅 (cm) の比
葉数	3=少, 5=中, 7=多 (特性審査基準_アブラナ, 農林水産省) ; 植物体の葉数 (枚) / 植物体重 (g) の値を参考
単位主茎径	植物体の最下葉の元で測定した主茎の太さ(mm)を植物体重で割った値(mm/g)
葉形比	葉幅 (cm) と葉幅の測定位置から葉先までの長さ (cm) の比
葉柄の長さ	0=無, 3=短, 5=中, 7=長; 葉柄長 (cm; 特性審査基準_ナタネ) / 葉長 (cm) の値に基づく (特性評価マニュアル_つげな, 農業生物資源ジーンバンク)
葉柄・中肋基部の幅	3=狭, 5=中, 7=広 (特性審査基準_アブラナ, 農林水産省)
小葉数の多少	1=無, 2=少, 3=中, 4=多 (「特性審査基準_アブラナおよびナタネ, 農林水産省」を参考) ; 小葉数 (枚) に基づく
葉肉の厚さ	1=薄, 2=中, 3=厚 (「特性審査基準_アブラナ, 農林水産省」を参考)
葉面の毛じ	1=無, 3=少, 5=中, 7=多 (特性審査基準_アブラナ, 農林水産省)
鋸歯の多少	1=無, 3=少, 5=中, 7=多 (特性審査基準_アブラナ, 農林水産省)
葉の先端の反りの強弱	1=無または極弱, 3=弱, 5=中, 7=強 (特性審査基準_カブ, 農林水産省)
葉の光沢の有無	1=無, 9=有; 葉部の顕著な光沢の有無 (「特性審査基準_アブラナ, 農林水産省」を参考)
葉の着色の有無	1=無, 9=有; 葉部の顕著なアントシアニン着色の有無
抽苔性	3=早, 5=中, 7=晩 (特性審査基準_アブラナ, 農林水産省)
<i>B. 花茎</i>	
単位花茎重	花茎の重量 (g) を長さ (cm) で割った値 (g・cm ⁻¹)
葉重率 (%)	葉部の重量 (g) / 花茎の重量 (g) ×100で算出
単位葉数	花茎の葉数 (枚) を長さ (cm) で割った値 (枚/cm)
調製後花茎重 (g)	30 cmに切り揃えた花茎の重量
調製後葉重率 (%)	30 cmに切り揃えた花茎における葉重率
調製後葉数 (枚)	30 cmに切り揃えた花茎における葉数
花茎の太さ	3=細, 5=中, 7=太 (特性審査基準_アブラナ, 農林水産省) ; 30 cmに切り揃えた花茎切断面の茎径 (mm) に基づく
花茎の着色	2=無~淡, 3=中, 5=濃 (「特性審査基準_アブラナ, 農林水産省」を参考)
小葉数の多少	植物体の形態と同様
葉面の毛じの有無	1=無, 2=有; 葉面の顕著な毛じの有無 (「特性審査基準_アブラナ, 農林水産省」を参考)
鋸歯の多少	植物体の形態と同様
葉の光沢の有無	植物体の形態と同様

²葉の観察項目は、いずれも最大葉を測定

1. 遺伝子解析 (SSR および SNP) の結果

日本国内の葉茎菜用セイヨウアブラナを中心とする 60 品種・系統について、SSR 解析では、Chen ら (2017) に準じた 30 個のマーカ―を用いて行った。その結果、連鎖群 A のマーカ―における遺伝的多様性指数の平均値は、 N_a が 6.67 個、 N_e が 2.82 個、 I が 1.12、 H_o が 0.08、 H_e が 0.54、PIC が 0.50、連鎖群 C のマーカ―における遺伝的多様性指数の平均値は、 N_a が 5.58 個、 N_e が 2.34 個、 I が 0.91、 H_o が 0.09、 H_e が 0.46、PIC が 0.41 であり、連鎖群 A の値が高い傾向であった (第 1-2 表)。すべてのマーカ―における遺伝的多様性指数の平均値は、 N_a が 6.23 個、 N_e が 2.63 個、 I が 1.04、 H_o が 0.08、 H_e が 0.51、PIC が 0.47 であった。また、連鎖群 A および C の遺伝子座における対立遺伝子の発現率は、連鎖群 A の遺伝子座では 94.4~100% の範囲であり、全体の平均で 99.0%、連鎖群 C の遺伝子座では 50.0~100% の範囲であり、全体の平均で 96.5% であった (第 1-5 表)。

SNP 解析では、マップした配列をリファレンスのゲノム配列と比較し、得られた SNP 候補から、マルチアレルおよびリファレンスの塩基が N でないものを除外し、さらに、Depth が 10~500、Qual = 999 に適合するものを選び、各系統および SNP 当たり最大 30% のデータの欠損 (max-missing 0.7) を設定してフィルタリングした結果、計 10,266 個の SNP 候補が絞り込まれた。さらに、以上のデータを VCF ファイルにより TASSEL 5 (Glaubitz ら, 2014) で読み込んで、site の Count が 20% 以下のもの、対立遺伝子の頻度が 5% 以下のもの、ヘテロ接合の割合が 50% 以上であるもの、SNP の連鎖群がランダムであるものをさらにフィルタリングし、同時に Minor SNP states および INDEL を除外した結果、計 5,233 個の SNP が本研究の解析対象として採用された (第 1-6 表)。採用された SNP の各連鎖群における個数は 188~464 個であり、連鎖群 A の平均で 275.2 個、連鎖群 C の平均で 275.7 個、全体の平均で 275.4 個であった。ヘテロ接合の

割合は、連鎖群 A の平均で 0.071, 連鎖群 C の平均で 0.112, 全体の平均で 0.090 であ
400 った。最後に、系統において、20%以上の欠損率を示す系統をフィルタリングした結
果、計 3 品種・系統が除外された。また、SNP 解析では、別種 (*B. rapa*) の品種を解
析から外した (Pelc ら, 2015)。その結果、SNP 解析では、計 54 品種・系統が解析の
対象に絞られた (除外された品種・系統を第 1-1 表の備考に記載)。また、54 品種・
系統に対して 5,233 個の SNP マーカーを用いた遺伝的多様性指数の平均値は、 N_a が
405 1.97 個, N_e が 1.48 個, I が 0.447, H_o が 0.122, H_e が 0.291 であった (第 1-7 表)。

2. 遺伝子解析 (SSR および SNP) における両解析法の類似性

SSR および SNP 解析による遺伝的距離行列の相関関係を、第 1-1 図に示す。解析に
は、葉茎菜用セイヨウアブラナを中心とする 60 品種・系統 (MBN-1~MBN-60) およ
410 びコアコレクションの 138 品種・系統を合わせた計 198 品種・系統であり、解析に用
いたデータの数は、計 19,306 個であった。その結果、 $r^2 = 0.3645$ ($r = 0.604^{**}$) の有意
な相関関係が認められた。

3. コアコレクションを用いた遺伝子型における遺伝的多様性の比較

415 葉茎菜用セイヨウアブラナを中心とする 60 品種・系統 (MBN-1~MBN-60) の遺伝
子型における遺伝的多様性について、コアコレクションと比較するため、多変量解析
を行い、散布図を作成した。SSR 解析の主座標分析では、主座標 1 から 3 までの累積
寄与率が 22.57%であり、主座標 1 は 12.48%, 主座標 2 は 5.62%, 主座標 3 は 4.47%
を示した (第 1-8 表)。散布図は、主座標 1 と 2 および主座標 2 と 3 を軸とする 2 種
420 類を作成した (第 1-2 図 A, B)。その結果、主座標 1 と 2 の散布図において、海外の
ナタネの品種・系統である MBN-57 は主座標 1 のプラス方向かつ主座標 2 のマイナス
方向の離れた位置にプロットされたものの、葉茎菜用セイヨウアブラナを中心とする

品種・系統はコアコレクションとほぼ同じ位置にプロットされた（第 1-2 図 A）．しかし、主座標 1 と 3 の散布図においては、主座標 3（縦軸）のプラス方向で、MBN-43、
425 MBN-9, MBN-17, MBN-16, MBN-12, MBN-33 および MBN-45 の 6 品種・系統が、コアコレクションの 1 品種・系統（JP 番号：26668；‘宮内菜’）とともに、ほかの品種・系統から離れた位置にプロットされた（第 1-2 図 B）．なお、本論文の第 4 章で
着目する MBN-31（川崎 No. 6）は、MBN-1～MBN-60 のなかでも、主座標 1 のマイナス方向にプロットされた（第 1-2 図 A または B）．

430 SNP 解析の主成分分析では、主座標 1 から 3 までの累積寄与率が 23.55%であり、主成分 1 は 13.25%、主成分 2 は 6.39%、主成分 3 は 3.32%を示したことから（第 1-8
表）、SSR 解析と同様、主成分 1 と 2 および主成分 2 と 3 を軸とする散布図を作成した（第 1-3 図 A, B）．その結果、主成分 1 と 2 の散布図において、葉茎菜用セイヨウ
アブラナを中心とする品種・系統は、SSR 解析と同様、コアコレクションとほぼ同じ
435 位置にプロットされた（第 1-3 図 A）．しかし、主成分 1 と 3 の散布図においては、主成分 3（縦軸）のプラス方向で、MBN-9, MBN-43, MBN-16, MBN-12, MBN-17 お
よび MBN-33 の 5 品種・系統が、SSR 解析と同様なコアコレクションの 1 品種・系統
とともに、ほかの品種・系統から離れた位置にプロットされた（第 1-3 図 B）．なお、
前述の MBN-31（川崎 No. 6）がプロットされた位置は、SSR 解析（第 1-2 図 A または
440 B）と同様な傾向を示した（第 1-3 図 A または B）．

葉茎菜用セイヨウアブラナを中心とする品種・系統（MBN-1～MBN-60）の遺伝的多
様性指数をコアコレクションと比較すると、MBN-1～MBN-60 の SSR, SNP 解析とも
に、 N_a , N_e , I および H_e が、いずれもコアコレクション（SSR 解析）比べて低い値を
示した（第 1-9 表）．同じ SSR 解析による遺伝子型のデータで比較すると、MBN-1～
445 MBN-60 の I および H_e は、コアコレクションに対して 4～5 割程度の値であった．

4. 60 品種・系統の遺伝子型による遺伝的集団構造および類縁関係

遺伝的集団構造および類縁関係の解析について、SSR 解析は、最適なクラスター数の推定法 (Evanno ら, 2005) による ΔK の値を算出した結果、 $\Delta K = 3$ 、 $\Delta K = 2$ および $\Delta K = 5$ の順に高い値を示した (第 1-4 図)。 $\Delta K = 3$ に次いで、 $\Delta K = 2$ で高い値を示したため、 $K = 2$ の Structure 解析結果 ($K = 3$ および 5 は後述) を見ると、クラスター 1 の分配確率は、神奈川県川崎市 (以下、川崎市) の農業技術支援センターで栽培している 10 系統 (川崎 No. 3, 川崎 No. 13, 川崎 No. 4, 川崎 No. 11, 川崎 No. 1, 川崎 No. 9, 川崎 No. 12, 川崎 No. 6, 川崎 No. 2 および川崎 No. 15) およびすべての「のらぼう菜」の市販品種 (3 品種) が高く、ほかの品種・系統と区別された (第 1-5 図)。

また、Nei の遺伝的距離に基づいた UPGMA 系統樹を作成し、 $K = 3$ および 5 の Structure 解析の結果とともにまとめた。その結果、収集した 60 品種・系統のうちの一部の品種・系統は、同じ原産地もしくは品種・系統名で分類された (第 1-6 図)。 $K = 3$ の場合、クラスター 1 (図中赤色) は、 $K = 2$ の場合とほぼ同様であり、それ以外の大多数の品種・系統は、クラスター 2 (図中緑色) と 3 (図中青色) で区別された。次に、 $K = 5$ の場合、クラスター 1 (図中黄色) の分配確率は、川崎市農業支援センターで栽培している 8 つの系統および川崎市の生産者から収集した「のらぼう菜」の計 9 系統が高かった。クラスター 2 (図中赤色) の分配確率は、川崎市農業支援センターで栽培している系統および市販品種の「のらぼう菜」の計 4 品種・系統が高かった。クラスター 3 (図中青色) の分配確率は、計 15 品種・系統で高かったものの、系統樹で 2 つに分かれたため、それぞれをクラスター 3a および 3b とした。クラスター 3a は、日本全国の広範囲を原産とする系統からなり、三重県の旧長島町を原産とする 2 系統 (長島在来 1 および長島在来 2)、川崎市農業支援センターで栽培している 1 系統、岡山県の「ゆめ菜」、福岡県の「博多な花おいしい菜」および市販の 3 品種 (‘あでやかつぼみ菜’, ‘のらちゃん菜’ および ‘三陸つぼみ菜’) の計 8 品種・系統を含んだ。

クラスター3bは、川崎市農業支援センターで栽培している2系統に加え、いずれも栃木県および群馬県を原産とする「かき菜」の5品種・系統および「宮内菜」の2品種・系統の計9系統が高かった。クラスター4（図中緑色）の分配確率は、計10品種・系統で高かったものの、系統樹で3つに分かれたため、それぞれをクラスター4a、4bおよび4cとした。クラスター4aは、新潟県の「川流れ菜」および「川流れ」の2品種・系統および「芯切菜」の2品種・系統の計4品種・系統が高かった。クラスター4bは、いずれも川崎市農業支援センターで栽培している3系統が高かった。クラスター4cは、系統樹でクラスター4aと4bに比べて最初に分岐し、福島県の「かぶれ菜」と「ちぢみかぶれ菜」および新潟県の「ちぢみ五月菜」の計3系統が高かった。最後に、クラスター5（図中紫色）の分配確率は、葉茎菜用セイヨウアブラナ以外の系統が高く、根菜として利用される「ネムロルタバガ」および油料種子として利用される「Wester」、*B. rapa*に分類される葉茎菜の3品種（「伏見寒咲花菜」、「黒川ちりめん」および「紅葉苔」）が高く、系統樹の最初の段階で葉茎菜用セイヨウアブラナから分岐した。しかし、系統樹でほかの品種・系統と分岐したものの、クラスター5の分配確率は、「かき菜」の市販品種、生産者の「のらぼう菜」および「五月菜」の各1品種・系統および「ちりめん冬菜」においても高かった。

次に、SNP解析で最適なクラスター数の推定法（Evannoら、2005）による ΔK の値を算出した結果、 $\Delta K=2$ 、 $\Delta K=6$ および $\Delta K=3$ の順に高い値を示した（第1-7図）。 $\Delta K=2$ で最も高い値を示したため、 $K=2$ のStructure解析結果を見ると、クラスター1（図中赤色）の分配確率は、川崎市農業支援センターで栽培している8系統（川崎No.3、川崎No.4、川崎No.11、川崎No.12、川崎No.13、川崎No.1、川崎No.9および川崎No.6）で高かった（第1-8図）。また、SSR解析と同様、Neiの遺伝的距離に基づいたUPGMA系統樹を作成し、 $\Delta K=3$ および $\Delta K=6$ の値が高かったため、 $K=3$ および6のStructure解析の結果とともにまとめた。その結果、SSR解析と同様、収集

495 した 60 品種・系統の一部は、同じ原産地もしくは品種・系統名で分類された（第 1-9
図）。 $K=3$ の場合、クラスター1（図中赤色）は、 $K=2$ の場合とほぼ同様であり、そ
れ以外の大多数の品種・系統は、クラスター2（図中青色）と 3（図中緑色）で区別さ
れた。次に、 $K=6$ の場合、クラスター1（図中赤色）の分配確率は、SSR 解析の結果
（第 1-6 図）と同様な品種・系統で高かった。クラスター2（図中緑色）の分配確率も、
500 SSR 解析の結果でクラスター3a の分配確率が高かった 8 品種・系統と、同様な系統で
高かった。しかし、長島在来 1 および長島在来 2 は、SSR 解析では同じクラスターの
分配確率が高かったものの、SNP 解析では同様な傾向が見られなかった。クラスター
3 の分配確率は、計 9 品種・系統で高かったものの、系統樹で 2 つに分かれたため、
それぞれをクラスター3a および 3b とした。クラスター3a は、新潟県の「川流れ」お
505 よび川崎市農業支援センターで栽培している 4 系統（川崎 No. 10, 川崎 No. 19, 川崎
No. 16, 川崎 No. 17）で高かった。クラスター3b は、「つみ菜」、岩手県の「はるの
輝」、新潟県の「川流れ菜」の市販品種、「芯切菜」の市販品種の計 4 品種・系統で
高かった。クラスター4（図中水色）の分配確率は、SSR 解析でクラスター2 の分配確
率が高かった 3 品種・系統に加え、埼玉県および東京都の生産者から収集した「のら
510 ぼう菜」の 2 品種・系統でも高かった。クラスター5（図中紫色）の分配確率は、SSR
解析の結果でクラスター3b の分配確率が高かった 6 品種・系統に加え、川崎市農業支
援センターで栽培している川崎 No. 8 でも高かった。最後に、クラスター6（図中青色）
の分配確率は、SSR 解析の結果でクラスター4c の分配確率が高かった 3 系統と同様な
系統で高かった。

515 葉茎菜用セイヨウアブラナを中心とした 60 品種・系統の SSR および SNP 解析に基
づく遺伝的集団構造および類縁関係の解析から、SSR, SNP 解析ともに、共通した分
類を示した系統をまとめた結果、グループ 1~5 までの計 5 つの系統群が確認された
（第 1-10 図）。また、SSR 解析においての *B. rapa* の 3 系統には、C ゲノム由来の遺

伝子座における欠損率が平均 50.0%と、他の系統の平均 1.5%に比べて高い特徴を示したため（第 1-5 表のデータから算出）、*B. rapa* の系統群として独立した。

5. 遺伝子型の解析に基づく遺伝的多様性と遺伝的分化

第 1-7 図（SSR 解析）および第 1-9 図（SNP 解析）で確認されたクラスターについて、クラスターに分類されなかった系統はその他とし、クラスター間における分子分散分析を行った結果、いずれの解析法においても品種・系統間の変異率が最も高く、SSR 解析が 55.0%、SNP 解析が 73.3%であった（第 1-10 表）。クラスター間の変異率は、SSR 解析が 30.7%、SNP 解析が 11.1%であった。また、 F 統計を行った結果、0～1 の範囲で値が大きいとクラスターレベルで遺伝的に分化していることを示す F_{st} は、SSR 解析で 0.307 ($P < 0.01$)、SNP 解析で 0.111 ($P < 0.01$) を示した（第 1-11 表）。また、1 に近いとクラスターレベルで遺伝的に固定していることを示す F_{is} は、SSR 解析で 0.794 ($P < 0.01$)、SNP 解析で 0.824 ($P < 0.01$) を示し、1 に近いと収集した品種・系統全体のレベルで遺伝的に固定していることを示す F_{it} は、SSR 解析で 0.857 ($P < 0.01$)、SNP 解析で 0.843 ($P < 0.01$) を示した。

次に、確認された各クラスターの遺伝的多様性指数を算出した結果、SSR 解析では、クラスター 1 が、 I および He で低い傾向であり、クラスター 5 が、 I および He で高い傾向であった（第 1-12 表）。SNP 解析では、クラスター 3 が、 I 、 He および F で高い傾向を示した。全体においては、 Ho を除き、SSR 解析が、SNP 解析に比べて高い傾向であった。

540 6. 表現型の多様性

葉茎菜用セイヨウアブラナを中心とした品種・系統における表現型について、植物体および花茎の形態を調査した結果、第 1-13 表に示すように、平均値、標準偏差、最

大値および最小値が観測された。それらの表現型のデータを用いた主成分分析では、植物体の形態で、主茎径、葉柄・中肋基部の幅、葉の光沢の有無および葉の着色の有無の項目の相関が低かったため、それらを除外し、植物体の形態 10 項目、花茎の形態 12 項目について、植物体の形態は 28 品種・系統、花茎の形態は 22 品種・系統を対象に解析した。その結果、固有値は、植物体の形態が主成分 3（第 1-14 表）、花茎の形態が主成分 4（第 1-15 表）までで 1.00 以上を示した。また、主成分 2 までの累積寄与率は、植物体の形態が 56.67%（第 1-14 表）、花茎の形態が 62.85%（第 1-15 表）であった。固有ベクトルは、植物体の形態において、主成分 1 は草姿、葉面の毛じおよび葉の先端の反りの強弱が負の相関を示し、それ以外の 7 項目はすべて正の相関を示した（第 1-14 表）。また、抽苔性 (0.464) が高い値となった。主成分 2 は、草姿 (0.473) が正の相関を示した項目のなかでは、値が最も高く、次に葉面の毛じ (0.428) と葉柄の長さ (0.409) が高い値を示した。また、葉肉の厚さ (-0.468) が負の相関を示した項目のなかで絶対値が最も高かった。主成分 3 は、葉形比 (0.585) が正の相関を示した項目のなかで値が最も高く、小葉数 (-0.489) が負の相関を示した項目のなかで絶対値が最も高かった。花茎の形態において、主成分 1 は、葉重率、調製後花茎重および花茎の太さが高い値を示した（第 1-15 表）。また、花茎の着色、小葉数の多少、鋸葉の多少および葉の光沢の有無が負の相関を示し、それ以外の 8 項目はすべて正の相関を示した。主成分 2 は、単位葉数 (-0.563) および花茎の着色 (-0.563) が負の相関を示し、絶対値が高かった。主成分 3 は、小葉数の多少 (0.615) および鋸葉の多少 (0.426) が正の相関を示した項目のなかで値が高く、葉の光沢の有無 (-0.512) が負の相関を示した項目のなかで絶対値が最も高かった。主成分 4 は、単位花茎重 (0.654) が最も高い値を示した。

主成分分析の第 1 および第 2 主成分得点による散布図を作成した結果、植物体の形態（第 1-11 図 A）において、*B. rapa* に分類される MBN-58 および MBN-59 は、葉茎

葉用セイヨウアブラナの品種・系統（計 25 品種・系統）から離れた位置にプロットされた。しかし、*B. rapa* で「紅葉苔」の MBN-60 は、MBN-58 および MBN-59 に比べて葉茎菜用セイヨウアブラナの品種・系統から離れた位置にプロットされなかった。花

570 茎の形態（第 1-11 図 B）では、*B. rapa* に分類される「紅葉苔」の MBN-60 が、葉茎菜用セイヨウアブラナおよびほかの *B. rapa* に分類される 2 系統から離れた位置にプロットされた。また、*B. rapa* に分類される MBN-58 および MBN-59 は、葉茎菜用セイヨウアブラナの系統（計 19 品種・系統）に比べて、主成分 1 の得点が高い位置にプロットされた。

575

7. 遺伝子型の解析に基づく各系統群の表現型の特徴

表現型の計 26 項目における平均値を、SSR 解析および SNP 解析で確認された各系統群（グループ 5 は除く）について算出した（第 1-16 表）。その結果、グループ 1

580 は、植物体の形態において、葉肉の厚さは値が大きい傾向であったものの、葉の先端の反りが弱い傾向であり、葉の光沢および着色は確認されなかった。花茎の形態において、葉面の毛じおよび葉の光沢は確認されなかった。しかし、花茎の着色の値は、グループ 1~4 のなかでは大きい傾向であった。グループ 2 は、植物体の形態において、葉の先端の反りが弱い傾向であり、葉の光沢および着色は確認されなかった。花茎の形態において、調製後葉重率が低い傾向であり、葉面の毛じおよび葉の光沢は

585 確認されなかった。グループ 3 は、植物体の形態において、葉の先端の反りが弱い傾向であり、葉の着色は確認されなかったものの、葉数が多い傾向であった。また、抽苔性の値は、最も値が小さかった *B. rapa* に次いだ。花茎の形態において、調製後葉数が少ない傾向であり、葉面の毛じは確認されなかった。グループ 4 は、植物体の形態において、葉の着色は確認されなかったものの、鋸歯が多い傾向であり、葉の光沢がある

590 系統を含んだ。また、抽苔性の値は、最も大きい値を示した。花茎の形態において、

単位花茎重および調製後花茎重が重く，調製後葉重率および調製後葉数の値が大きい傾向であった．また，グループ 1～4 のなかでは，花茎の太さの値が大きい傾向であったものの，花茎の着色の値は小さい傾向であった．さらに，葉面の毛じは確認されなかったが，葉の光沢がある系統を含んだ．*B. rapa* は，植物体の形態において，単位葉数，葉肉の厚さ，鋸歯の多少および抽苔性で最も小さい値を示し，葉の反り返りの強弱および葉の着色の有無で最も高い値を示した．また，花茎の形態においても，単位花茎重で最も低い値を示し，単位葉数，調製後葉数および葉面の毛じの有無で最も高い値を示した．

第1-5表 連鎖群AおよびCのSSR遺伝子座における対立遺伝子の発現率

番号	品種・系統名	連鎖群Aの遺伝子座			連鎖群Cの遺伝子座		
		発現あり	発現なし	発現率(%)	発現あり	発現なし	発現率(%)
MBN-1	‘はるの輝’	18	0	100	11	1	91.7
MBN-2	かぶれ菜	17	1	94.4	12	0	100
MBN-3	‘ちぢみかぶれ菜’	16	2	88.9	12	0	100
MBN-4	‘三陸つぼみ菜’	18	0	100	12	0	100
MBN-5	川流れ	18	0	100	12	0	100
MBN-6	川流れ菜	18	0	100	12	0	100
MBN-7	五月菜	18	0	100	12	0	100
MBN-8	‘ちぢみ五月菜’	17	1	94.4	12	0	100
MBN-9	かき菜 (市販1)	18	0	100	12	0	100
MBN-10	かき菜 (市販2)	18	0	100	12	0	100
MBN-11	かき菜 (市販3)	18	0	100	12	0	100
MBN-12	かき菜 (生産者)	18	0	100	12	0	100
MBN-13	芯切菜 (市販)	18	0	100	12	0	100
MBN-14	芯切菜 (GB1)	18	0	100	12	0	100
MBN-15	のらぼう菜 (市販1)	18	0	100	12	0	100
MBN-16	宮内菜 (GB)	18	0	100	12	0	100
MBN-17	宮内菜 (市販)	18	0	100	12	0	100
MBN-18	のらぼう菜 (市販2)	18	0	100	12	0	100
MBN-19	のらぼう菜 (市販3)	18	0	100	12	0	100
MBN-20	のらぼう菜 (生産者1)	18	0	100	12	0	100
MBN-21	‘ちりめん冬菜’	18	0	100	12	0	100
MBN-22	のらぼう菜 (生産者2)	18	0	100	12	0	100
MBN-23	のらぼう菜 (生産者3)	18	0	100	12	0	100
MBN-24	のらぼう菜 (生産者4)	18	0	100	12	0	100
MBN-25	‘のらちゃん菜’	18	0	100	12	0	100
MBN-26	川崎No. 1	18	0	100	12	0	100
MBN-27	川崎No. 2	18	0	100	12	0	100
MBN-28	川崎No. 3	18	0	100	12	0	100
MBN-29	川崎No. 4	18	0	100	12	0	100
MBN-30	川崎No. 5	17	1	94.4	12	0	100
MBN-31	川崎No. 6	18	0	100	12	0	100
MBN-32	川崎No. 7	18	0	100	12	0	100
MBN-33	川崎No. 8	18	0	100	12	0	100
MBN-34	川崎No. 9	18	0	100	12	0	100
MBN-35	川崎No. 10	18	0	100	12	0	100
MBN-36	川崎No. 11	18	0	100	12	0	100
MBN-37	川崎No. 12	18	0	100	12	0	100
MBN-38	川崎No. 13	18	0	100	12	0	100
MBN-39	川崎No. 14	18	0	100	11	1	91.7
MBN-40	川崎No. 15	18	0	100	12	0	100
MBN-41	川崎No. 16	18	0	100	11	1	91.7
MBN-42	川崎No. 17	16	2	88.9	12	0	100
MBN-43	川崎No. 18	18	0	100	12	0	100
MBN-44	川崎No. 19	18	0	100	11	1	91.7
MBN-45	川崎No. 20	17	1	94.4	12	0	100
MBN-46	のらぼう菜 (生産者5)	18	0	100	12	0	100
MBN-47	長島在来1	18	0	100	12	0	100
MBN-48	長島在来2	18	0	100	12	0	100
MBN-49	ゆめ菜	18	0	100	10	2	83.3
MBN-50	博多な花おいしい菜	18	0	100	11	1	91.7
MBN-51	芯切菜 (GB2)	18	0	100	12	0	100
MBN-52	つみ菜	18	0	100	12	0	100
MBN-53	‘あでやかつぼみ菜’	18	0	100	12	0	100
MBN-54	‘あまうまわらかかき菜’	18	0	100	12	0	100
MBN-55	‘ネムロルタバガ’	18	0	100	12	0	100
MBN-56	‘大朝鮮’	18	0	100	12	0	100
MBN-57	‘WESTAR’	18	0	100	12	0	100
MBN-58	‘伏見寒咲花菜’	17	1	94.4	6	6	50.0
MBN-59	‘黒川ちりめん’	17	1	94.4	6	6	50.0
MBN-60	紅葉苔	17	1	94.4	6	6	50.0
	全体の平均	17.8	0.2	99.0	11.6	0.4	96.5

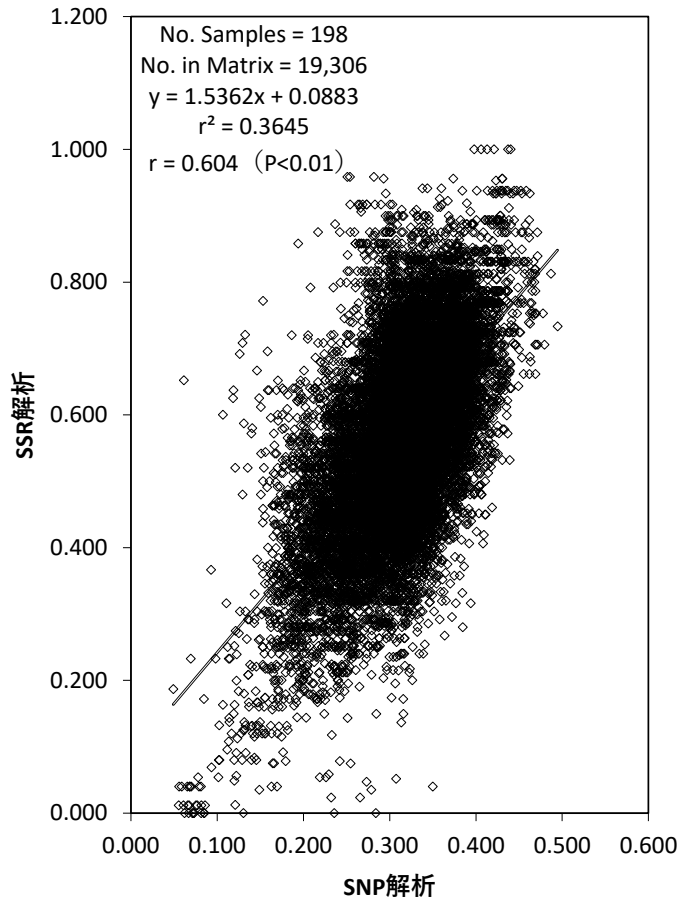
第 1-6 表 SNP マーカー (5,233 個) の各連鎖群に
おけるマーカー数およびヘテロ接合の割合

連鎖群	マーカー数	ヘテロ接合の割合
A01	251	0.097
A02	273	0.076
A03	445	0.087
A04	188	0.053
A05	222	0.044
A06	270	0.066
A07	272	0.057
A08	216	0.068
A09	406	0.086
A10	209	0.074
連鎖群 A の平均	275.2	0.071
C01	254	0.119
C02	284	0.104
C03	464	0.113
C04	266	0.091
C05	202	0.141
C06	286	0.095
C07	250	0.106
C08	244	0.109
C09	231	0.134
連鎖群 A の平均	275.7	0.112
全体の平均	275.4	0.090

第 1-7 表 5,233 個の SNP マーカーにおける遺伝的多様性指数の平均値²

	品種・系統数	N_a	N_e	I	H_o	H_e
平均値	54	1.97	1.48	0.447	0.122	0.291

² N_a = 異なる対立遺伝子数, N_e = 有効な対立遺伝子数, I = Shannon の多様性指数, H_o = ヘテロ接合度の観測値, H_e = ヘテロ接合度の期待値



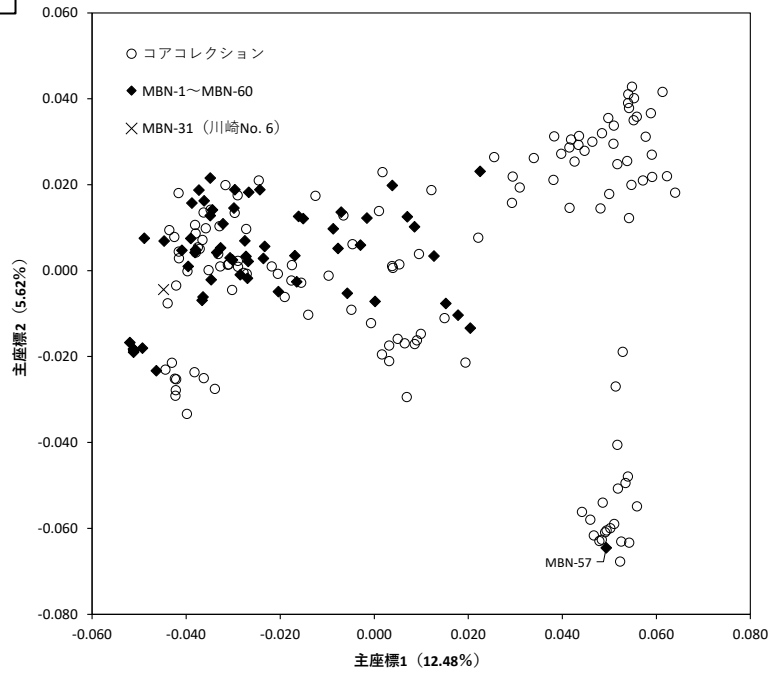
第 1-1 図 198 品種・系統を用いた SSR および SNP 解析
 における遺伝的距離行列の相関関係 (Mantel 検
 定)

615

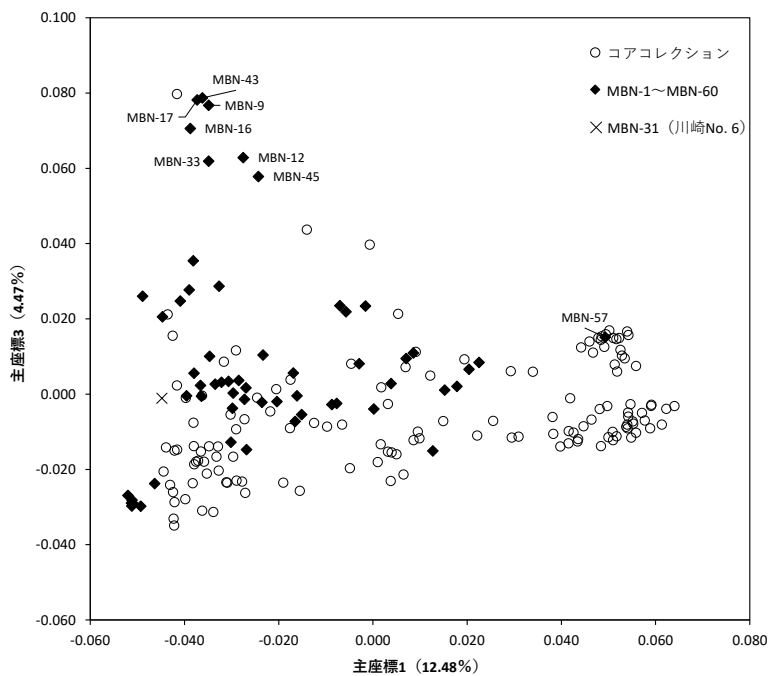
第 1-8 表 葉茎菜用セイヨウアブラナおよびコアコレクションを用いた遺伝子型における多変量解析の寄与率

解析法	主座標または主成分 (%)			
	1	2	3	累積
SSR (主座標分析)	12.48	5.62	4.47	22.57
SNP (主成分分析)	13.25	6.39	3.32	23.55

A

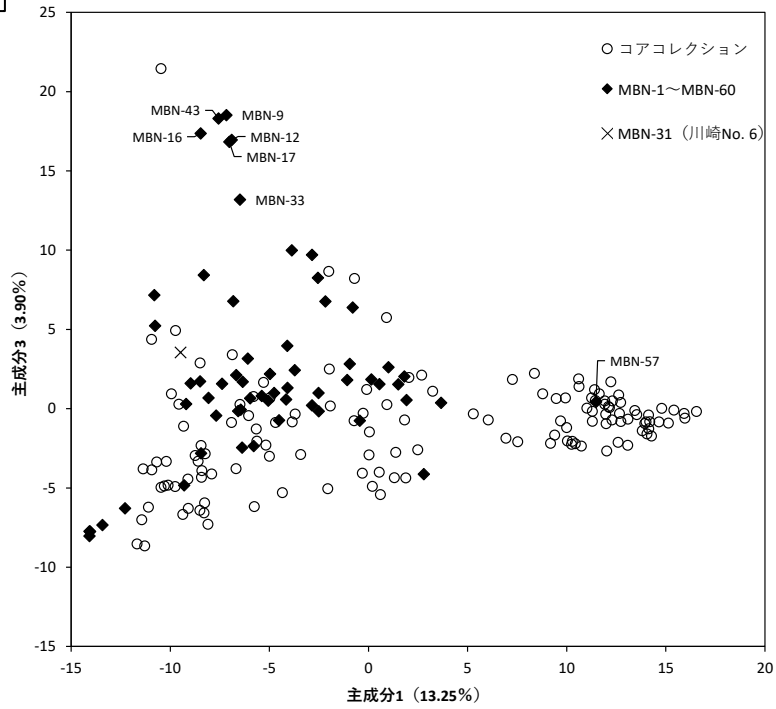


B



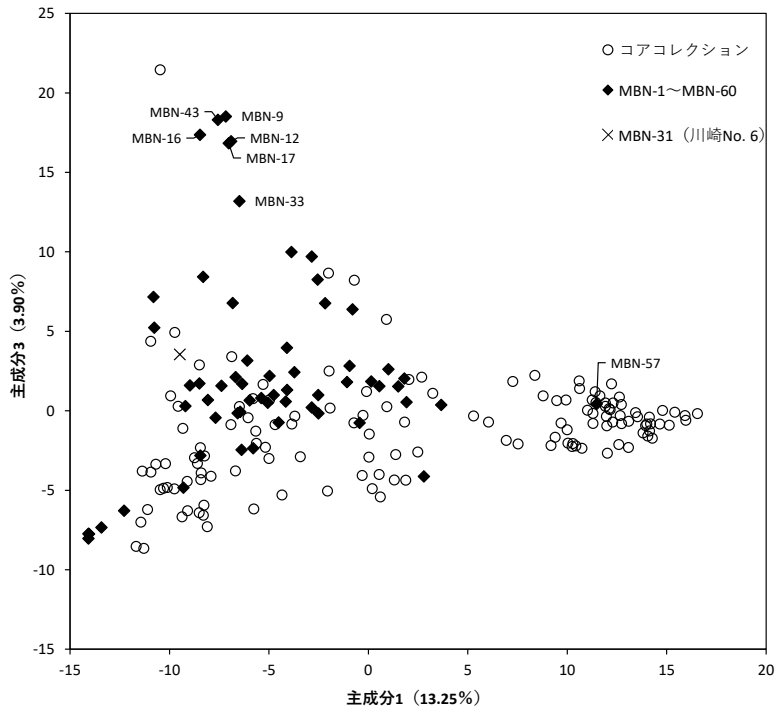
第 1-2 図 葉茎菜用セイウアブラナを中心とする 60 品種・系統(MBN-1~MBN-60)およびコアコレクションを用いた主座標分析における散布図(SSR 解析)(A. 主座標 1×主座標 2;B. 主座標 1×主座標 3)

A



625

B



第1-3図 葉茎菜用セイヨウアブラナを中心とする60品種・系統(MBN-1~MBN-60)およびコアコレクションを用いた主座標分析における散布図(SNP解析)
(A. 主座標1×主座標2; B. 主座標1×主座標3)

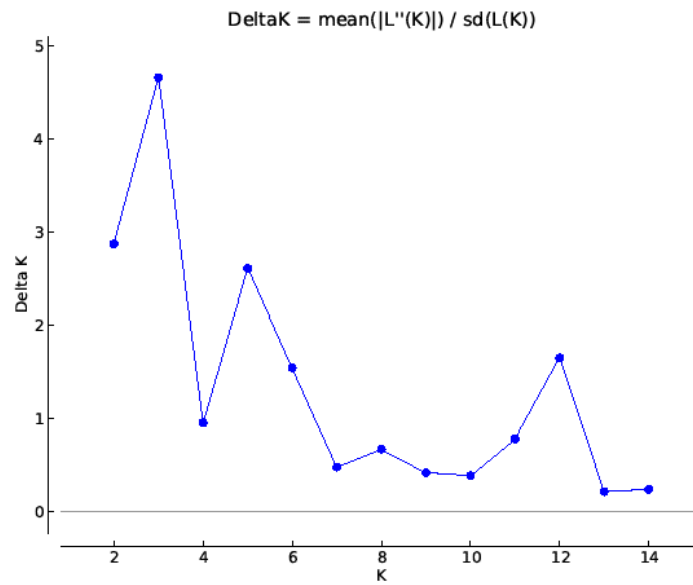
第 1-9 表 葉茎菜用セイヨウアブラナを中心とした品種・系統およびコアコレクションにおける遺伝的多様性指数^z

遺伝子型のデータ	<i>Na</i>	<i>Ne</i>	<i>I</i>	<i>Ho</i>	<i>He</i>
MBN-1～MBN-60_SSR 解析 ^y	2.38	1.84	0.55	0.08	0.32
MBN-1～MBN-60_SNP 解析	1.43	1.26	0.23	0.10	0.16
コアコレクション_SSR 解析 ^x	10.37	3.57	1.39	0.06	0.62

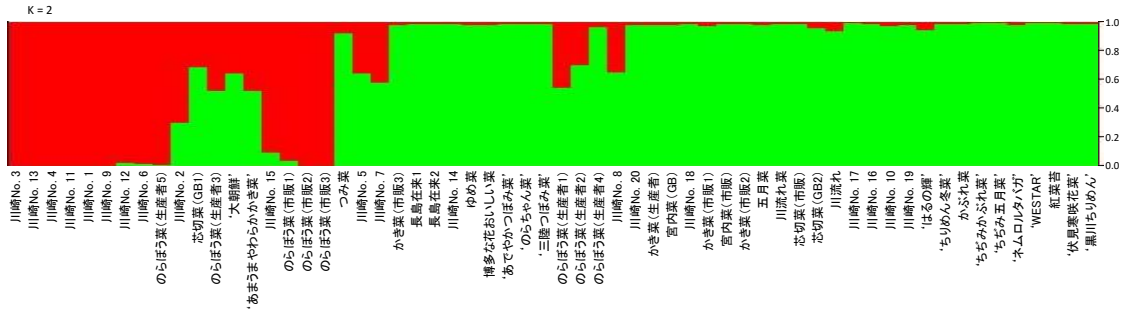
^z*Na* = 異なる対立遺伝子数, *Ne* = 有効な対立遺伝子数, *I* = Shannon の多様度指数, *Ho* = ヘテロ接合度の観測値, *He* = ヘテロ接合度の期待値

^y別種の *B.rapa* の品種・系統を除外して算出した

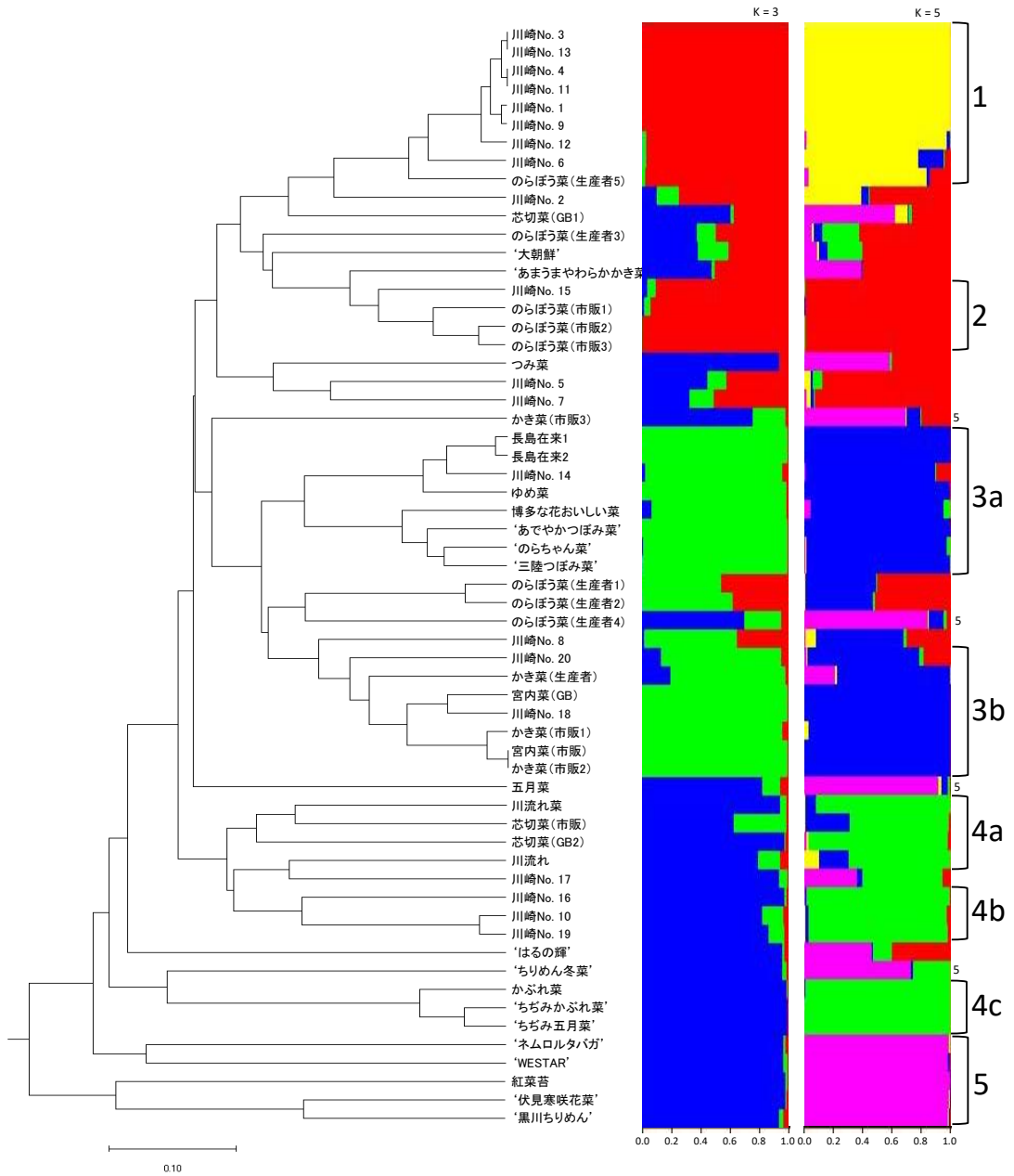
^xChen ら (2017) のデータを記載



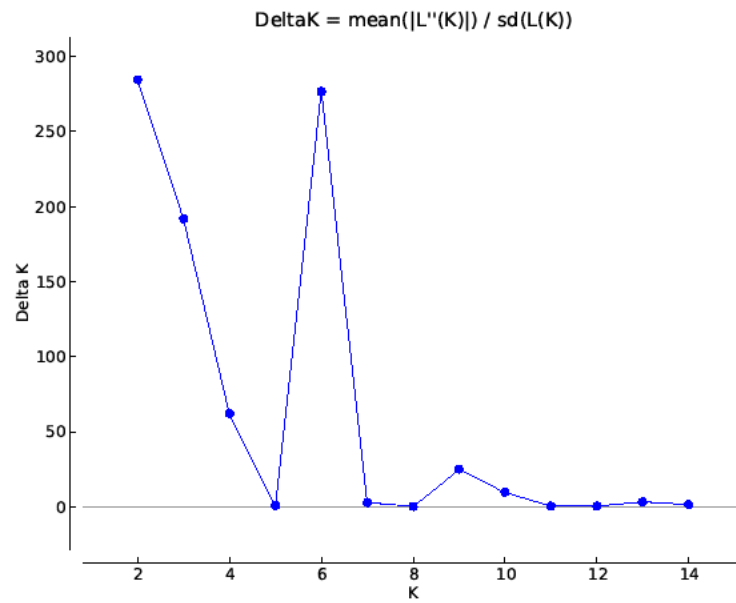
第 1-4 図 葉茎菜用セイヨウアブラナを中心とする 60 品
種・系統を用いた Structure 解析における ΔK 値
(SSR 解析)



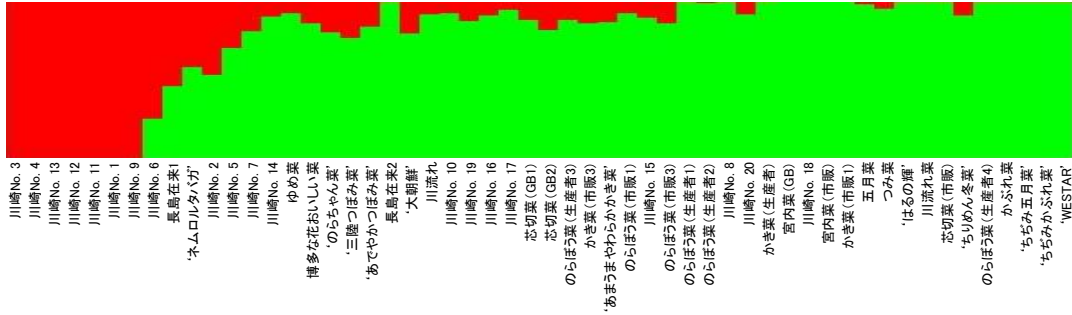
第 1-5 図 葉茎菜用セイヨウアブラナを中心とする 60 品種・系統を用いた Structure 解析 (K = 2 の場合) におけるクラスター分配確率 (SSR 解析) クラスター 1 は赤色およびクラスター 2 は緑色を示す



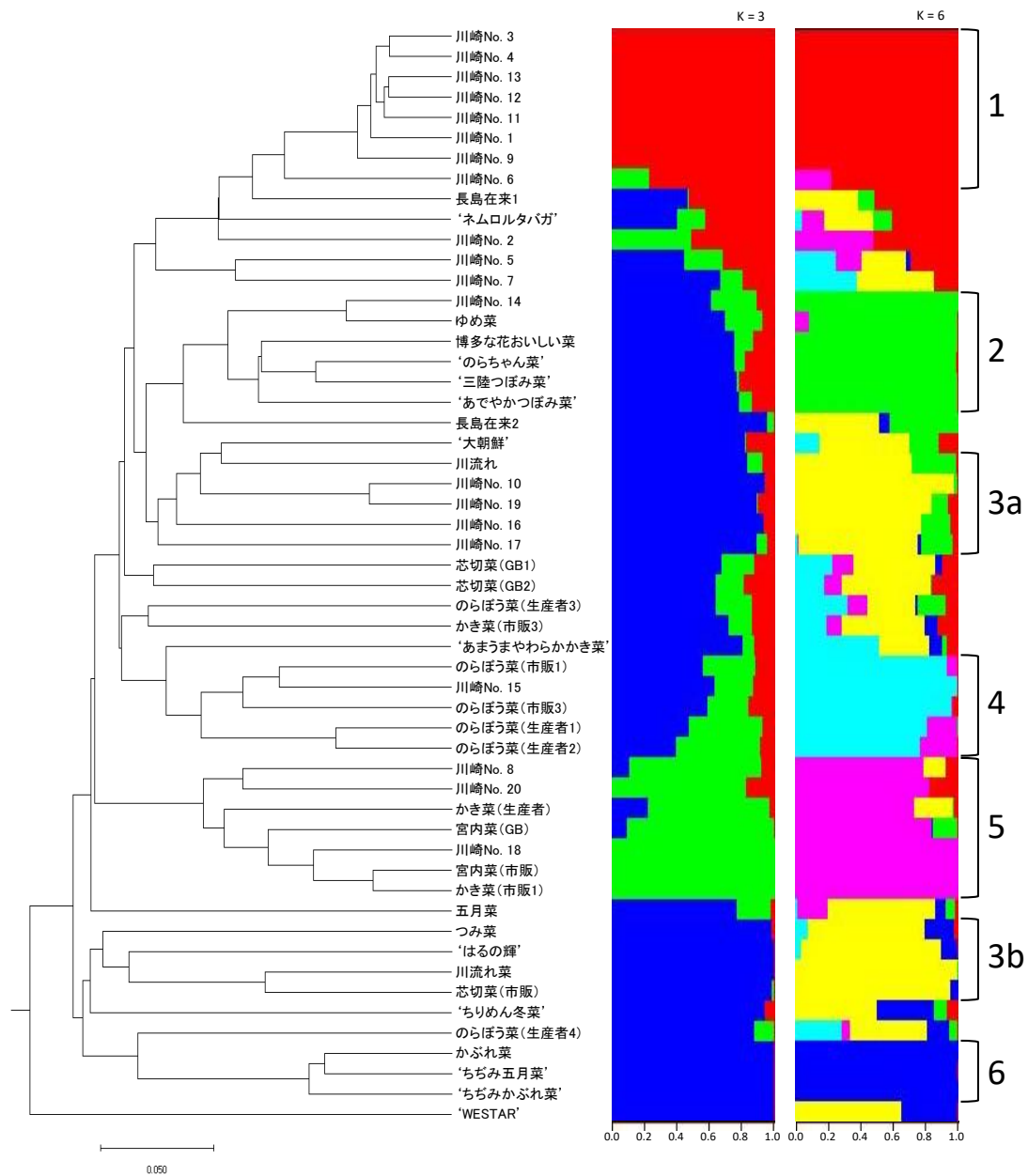
第 1-6 図 葉茎菜用セイヨウアブラナを中心とする 60 品種・系統を用いた Structure 解析 (K = 3 および 5 の場合) におけるクラスター分配確率および遺伝的距離に基づく UPGMA 系統樹 (SSR 解析)
 K = 3: クラスター 1 は赤色, クラスター 2 は緑色およびクラスター 3 は青色を示す
 K = 5: クラスター 1 は黄色, クラスター 2 は赤色, クラスター 3 は青色, クラスター 4 は緑色およびクラスター 5 は紫色を示す



第 1-7 図 葉茎菜用セイヨウアブラナを中心とする 54 品
種・系統を用いた Structure 解析における ΔK 値
(SNP 解析)



第 1-8 図 葉茎菜用セイウアブラナを中心とする 54 品種・系統を用いた Structure 解析 (K = 2 の場合) におけるクラスター分配確率 (SNP 解析) クラスター 1 は赤色およびクラスター 2 は緑色を示す



第 1-9 図 葉茎菜用セイヨウアブラナを中心とする 60 品種・系統を用いた Structure 解析 (K = 3 および 6 の場合) におけるクラスター分配確率および遺伝的距離に基づく UPGMA 系統樹
 K = 3: クラスター1 は赤色, クラスター2 は青色およびクラスター3 は緑色を示す
 K = 6: クラスター1 は赤色, クラスター2 は緑色, クラスター3 は黄色, クラスター4 は水色, クラスター5 は紫色およびクラスター6 は青色を示す

番号	品種・系統名	クラスター		系統群
		SSR	SNP	
MBN-26	川崎No. 1	1	1	グループ1
MBN-28	川崎No. 3	1	1	グループ1
MBN-29	川崎No. 4	1	1	グループ1
MBN-31	川崎No. 6	1	1	グループ1
MBN-34	川崎No. 9	1	1	グループ1
MBN-36	川崎No. 11	1	1	グループ1
MBN-37	川崎No. 12	1	1	グループ1
MBN-38	川崎No. 13	1	1	グループ1
MBN-46	のらぼう菜 (生産者5)	1	-	グループ1
MBN-15	のらぼう菜 (市販1)	2	4	グループ2
MBN-19	のらぼう菜 (市販3)	2	4	グループ2
MBN-40	川崎No. 15	2	4	グループ2
MBN-18	のらぼう菜 (市販2)	2	-	グループ2
MBN-4	'三陸つぼみ菜'	3a	2	グループ3
MBN-25	'のらちゃん菜'	3a	2	グループ3
MBN-39	川崎No. 14	3a	2	グループ3
MBN-49	ゆめ菜	3a	2	グループ3
MBN-50	博多な花おいしい菜	3a	2	グループ3
MBN-53	'あでやかつぼみ菜'	3a	2	グループ3
MBN-12	かき菜 (生産者)	3b	5	グループ4
MBN-16	宮内菜 (GB)	3b	5	グループ4
MBN-17	宮内菜 (市販)	3b	5	グループ4
MBN-43	川崎No. 18	3b	5	グループ4
MBN-45	川崎No. 20	3b	5	グループ4
MBN-9	かき菜 (市販1)	3b	5	グループ4
MBN-10	かき菜 (市販2)	3b	-	グループ4
MBN-2	かぶれ菜	4c	6	グループ5
MBN-3	'ちじみかぶれ菜'	4c	6	グループ5
MBN-8	'ちぢみ五月菜'	4c	6	グループ5
MBN-11	かき菜 (市販3)	5		
MBN-21	'ちりめん冬菜'	5		
MBN-24	のらぼう菜 (生産者4)	5		
MBN-55	'ネムロルタバガ'	5		
MBN-57	'WESTAR'	5		
MBN-7	五月菜	5		
MBN-58	'伏見寒咲花菜'	5	-	
MBN-59	'黒川ちりめん'	5	-	
MBN-60	紅葉苔	5	-	
MBN-47	長島在来1	3a		
MBN-48	長島在来2	3a		
MBN-6	川流れ菜	4a	3b	
MBN-13	芯切菜 (市販)	4a	3b	
MBN-5	川流れ	4a		
MBN-51	芯切菜 (GB2)	4a		
MBN-35	川崎No. 10	4b	3a	
MBN-41	川崎No. 16	4b	3a	
MBN-44	川崎No. 19	4b	3a	
MBN-42	川崎No. 17		3a	
MBN-1	'はるの輝'		3b	
MBN-52	つみ菜		3b	
MBN-20	のらぼう菜 (生産者1)		4	
MBN-22	のらぼう菜 (生産者2)		4	
MBN-33	川崎No. 8		5	
MBN-14	芯切菜 (GB1)			
MBN-23	のらぼう菜 (生産者3)			
MBN-27	川崎No. 2			
MBN-30	川崎No. 5			
MBN-32	川崎No. 7			
MBN-54	'あまうまやわらかかき菜'			
MBN-56	'大朝鮮'			

660

第 1-10 図 葉茎菜用セイヨウアブラナを中心とする 60 品種・系統の SSR (K = 5) および SNP 解析 (K = 6) に基づいて分類した系統群

空白は、クラスターに分類されなかったことを示し、「-」は、SNP 解析において除外された系統を示す

第 1-10 表 遺伝子型の解析により確認されたクラスター間における分子分散分析

解析法	分散要因	自由度	平方和	平均平方	変異率 (%)
SSR ^z	クラスター間	5	279.1	55.8	30.7
	品種・系統間	51	512.9	10.1	55.0
	クラスター内の品種・系統間	57	66.0	1.2	14.3
	合計	113	858.0		100
SNP	クラスター間	6	27297.5	4549.6	11.1
	品種・系統間	47	106778.5	2271.9	73.3
	クラスター内の品種・系統間	54	11858.5	219.6	15.7
	合計	107	145934.5		100

^z別種の *B. rapa* の品種・系統を除外して解析した

第 1-11 表 遺伝子型の解析により確認された系統
群間における F 統計

解析法	F 統計	値	P 値
SSR ^z	F_{st}	0.307	<0.001
	F_{is}	0.794	<0.001
	F_{it}	0.857	<0.001
SNP	F_{st}	0.111	<0.001
	F_{is}	0.824	<0.001
	F_{it}	0.843	<0.001

^z別種の *B. rapa* の品種・系統を除外して解析した

第 1-12 表 遺伝子型の解析により確認された各クラスターにおける遺伝的多様性指数^z

解析法	系統群	<i>Na</i>	<i>Ne</i>	<i>I</i>	<i>Ho</i>	<i>He</i>	<i>F</i>
SSR ^y	クラスター1	1.40	1.10	0.128	0.019	0.070	0.756
	クラスター2	1.37	1.22	0.197	0.042	0.128	0.619
	クラスター3	2.23	1.60	0.487	0.057	0.293	0.768
	クラスター4	2.60	2.16	0.695	0.080	0.406	0.772
	クラスター5	3.37	2.75	0.991	0.189	0.552	0.617
	その他	3.30	2.18	0.823	0.103	0.457	0.729
	全体	2.38	1.84	0.554	0.082	0.318	0.711
SNP	クラスター1	1.19	1.11	0.104	0.075	0.069	0.018
	クラスター2	1.33	1.23	0.195	0.087	0.134	0.324
	クラスター3	1.65	1.40	0.352	0.098	0.236	0.529
	クラスター4	1.36	1.26	0.215	0.089	0.147	0.362
	クラスター5	1.43	1.25	0.227	0.090	0.151	0.379
	クラスター6	1.13	1.09	0.107	0.092	0.074	-0.238
	その他	1.90	1.46	0.430	0.154	0.280	0.422
全体	1.43	1.26	0.230	0.098	0.156	0.356	

^z*Na* = 異なる対立遺伝子数, *Ne* = 有効な対立遺伝子数, *I* = Shannon の多様度指数, *Ho* = ヘテロ接合度の観測値, *He* = ヘテロ接合度の期待値, *F* = 近交係数
B. rapa は解析から除外した

^y別種の *B. rapa* の品種・系統を除外して解析した

第 1-13 表 葉茎菜用セイヨウアブラナを中心とした品
種・系統の表現型における調査項目の平均値，標準
偏差，最大値および最小値²

調査項目	平均値	標準偏差	最大値	最小値
A. 植物体（花茎を除く）				
草姿	0.77	0.15	1.40	0.51
葉数	5.8	1.1	8.0	4.0
単位主茎径	0.061	0.025	0.178	0.021
葉形比	0.34	0.20	2.31	0.13
葉柄の長さ	4.5	1.0	6.0	0.0
葉柄・中助基部の幅	3.9	1.1	7.0	2.0
小葉数の多少	2.7	0.9	4.0	1.0
葉肉の厚さ	2.1	0.8	3.0	1.0
葉面の毛じ	2.0	1.2	5.0	1.0
鋸歯の多少	3.2	1.0	5.0	1.0
葉の先端の反りの強弱	1.2	0.5	3.0	1.0
葉の光沢の有無	1.9	2.4	9.0	1.0
葉の着色の有無	1.3	1.4	9.0	1.0
抽苔性	6.7	1.6	8.0	3.0
B. 花茎				
単位花茎重	1.48	0.70	4.32	0.42
葉重率（%）	40.8	11.4	65.9	18.1
単位葉数	0.14	0.04	0.26	0.09
調製後花茎重（g）	29.2	10.1	58.7	8.0
調製後葉重率（%）	36.0	12.0	72.7	8.3
調製後葉数（枚）	4.2	1.1	9.1	0.5
花茎の太さ	5.3	1.0	7.0	3.0
花茎の着色	2.3	0.7	5.0	2.0
小葉数の多少	1.9	0.6	3.0	1.0
葉面の毛じの有無	1.8	2.2	9.0	1.0
鋸歯の多少	4.0	1.1	6.0	2.0
葉の光沢の有無	1.8	2.3	9.0	1.0

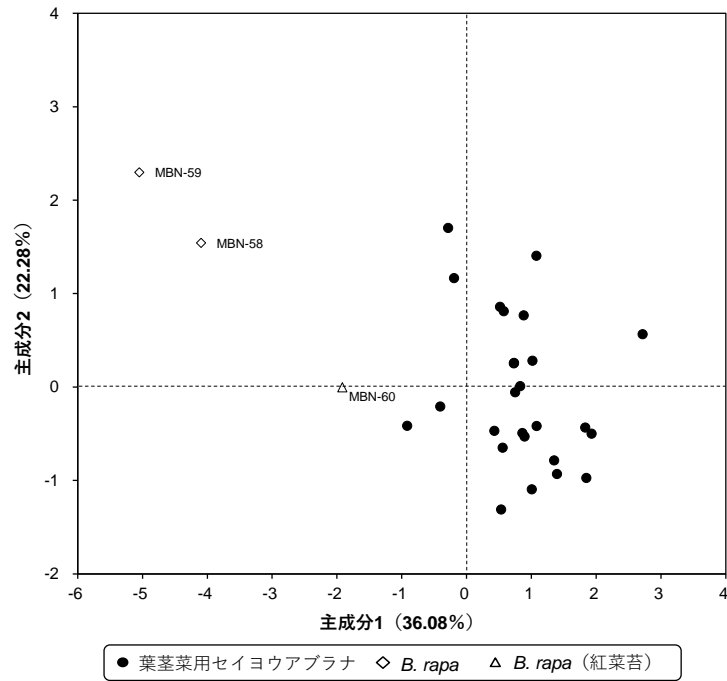
第 1-14 表 葉茎菜用セイヨウアブラナを中心とした
60 品種・系統の表現型（植物体の形態）にお
いて主成分分析を行った際の固有値，寄与率
および固有ベクトル

	主成分 1	主成分 2	主成分 3
固有値	3.61	2.23	1.07
寄与率 (%)	36.08	22.28	10.68
累積寄与率 (%)	36.08	58.36	69.04
	固有ベクトル		
草姿	-0.255	0.473	-0.004
単位葉数	0.310	0.146	0.333
葉形比	0.242	-0.071	0.585
葉柄の長さ	0.239	0.409	-0.353
小葉数の多少	0.353	0.044	-0.489
葉肉の厚さ	0.189	-0.468	-0.225
葉面の毛じ	-0.226	0.428	0.042
鋸齒の多少	0.373	0.236	0.335
葉の先端の反りの強弱	-0.398	-0.329	0.134
抽苔性	0.464	-0.118	-0.018

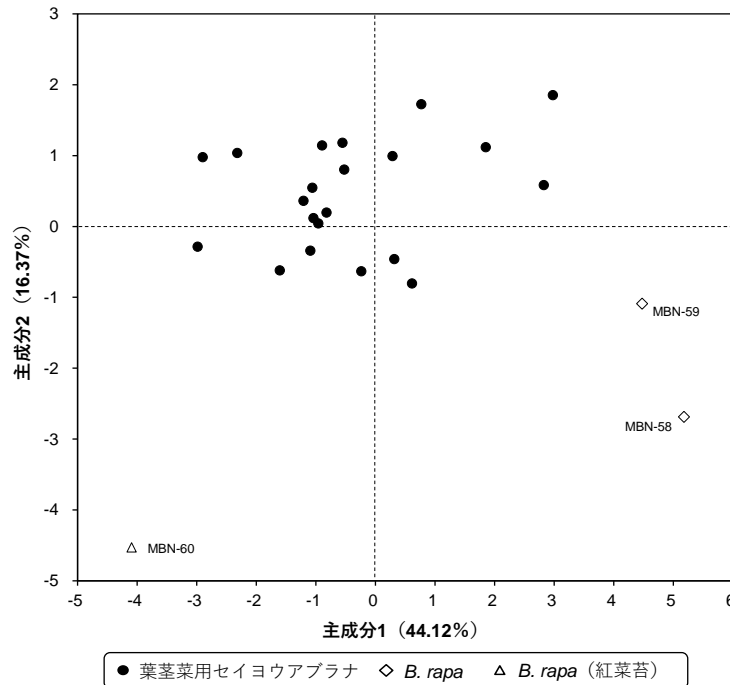
第 1-15 表 葉茎菜用セイヨウアブラナを中心とした 22 品
種・系統の表現型（花茎の形態）において主成分分析
を行った際の固有値，寄与率および固有ベクトル

	主成分 1	主成分 2	主成分 3	主成分 4
固有値	5.29	1.96	1.30	1.17
寄与率 (%)	44.12	16.37	10.87	9.77
累積寄与率 (%)	44.12	60.49	71.37	81.14
	固有ベクトル			
単位花茎重	0.171	0.360	-0.011	0.654
葉重率 (%)	0.358	0.101	0.093	-0.175
単位葉数	0.189	-0.563	0.246	0.154
調製後花茎重 (g)	0.385	0.176	0.072	0.056
調製後葉重率 (%)	0.354	0.035	0.092	-0.307
調製後葉数 (枚)	0.310	-0.284	0.239	0.294
花茎の太さ	0.396	0.172	-0.040	0.155
花茎の着色	-0.218	-0.433	0.160	0.362
小葉数の多少	-0.210	0.217	0.615	0.110
葉面の毛じの有無	0.302	-0.321	0.107	-0.326
鋸歯の多少	-0.289	0.105	0.426	-0.231
葉の光沢の有無	-0.115	-0.228	-0.512	0.091

A. 植物体の形態



B. 花茎の形態



第 1-11 図 葉茎菜用セイヨウアブラナを中心とした品種・系統の表現型を用いた主成分分析における第 1 および第 2 主成分得点による散布図(A. 植物体の形態, B. 花茎の形態)

第1-16表 遺伝子解析で確認された系統群における表現型の項目の平均値^z

調査項目	グループ1	グループ2	グループ3	グループ4	その他 ^y	<i>B. rapa</i>	<i>P</i> ^x
A. 植物体 (花茎を除く)							
草姿	0.71 ± 0.04 ^w	0.74 ± 0.08	0.80 ± 0.14	0.69 ± 0.09	0.76 ± 0.18	0.88 ± 0.17	0.068
葉数	- ^v	5.7 ± 1.2	6.6 ± 1.3	6.0 ± 0.8	5.9 ± 0.8	4.0 ± 0.0	0.027 *
単位主茎径	0.058 ± 0.005	0.072 ± 0.015	0.066 ± 0.029	0.059 ± 0.024	0.059 ± 0.026	0.048 ± 0.010	0.236
葉形比	0.37 ± 0.12	0.35 ± 0.08	0.29 ± 0.08	0.49 ± 0.58	0.34 ± 0.07	0.27 ± 0.05	0.113
葉柄の長さ	-	5.0 ± 0.0	3.6 ± 2.1	4.8 ± 1.0	4.7 ± 0.5	4.7 ± 0.6	0.295
葉柄・中肋基部の幅	-	3.0 ± 1.0	4.4 ± 0.9	3.3 ± 0.5	4.0 ± 1.3	4.7 ± 0.6	0.287
小葉数の多少	-	2.7 ± 0.6	2.4 ± 1.1	3.3 ± 0.5	2.8 ± 0.9	2.0 ± 1.0	0.505
葉肉の厚さ	3.0 ± 0.0	2.0 ± 0.0	1.4 ± 0.5	2.0 ± 0.8	2.5 ± 0.6	1.0 ± 0.0	0.002 **
葉面の毛じ	-	2.7 ± 0.6	2.2 ± 1.3	1.5 ± 1.0	1.7 ± 0.9	3.7 ± 2.3	0.112
鋸歯の多少	-	3.7 ± 0.6	3.2 ± 0.4	4.0 ± 1.2	3.2 ± 0.8	1.0 ± 0.0	< 0.001 **
葉の先端の反りの強弱	1.0 ± 0.0	1.0 ± 0.0	1.0 ± 0.0	1.3 ± 0.5	1.0 ± 0.0	2.3 ± 1.2	< 0.001 **
葉の光沢の有無	1.0 ± 0.0	1.0 ± 0.0	2.6 ± 3.6	3.0 ± 4.0	1.5 ± 2.1	2.2 ± 2.0	0.857
葉の着色の有無	1.0 ± 0.0	1.0 ± 0.0	1.0 ± 0.0	1.0 ± 0.0	1.0 ± 0.0	3.7 ± 4.6	0.080
抽苔性	7.0 ± 0.0	7.3 ± 0.6	6.0 ± 0.0	7.5 ± 1.0	7.2 ± 1.4	3.3 ± 0.6	< 0.001 **
B. 花茎							
単位花茎重	1.51 ± 0.82	1.16 ± 0.41	1.29 ± 0.39	1.82 ± 0.84	1.60 ± 0.74	1.02 ± 0.31	< 0.001 **
葉重率 (%)	32.9 ± 8.6	42.7 ± 3.5	39.1 ± 13.9	48.7 ± 4.2	38.6 ± 8.0	46.9 ± 25.3	0.664
単位葉数	0.13 ± 0.00	0.12 ± 1.15	0.12 ± 1.34	0.13 ± 0.82	0.13 ± 0.83	0.21 ± 0.00	0.012 *
調製後花茎重 (g)	25.8 ± 8.4	25.5 ± 8.3	30.2 ± 10.2	33.5 ± 10.2	31.4 ± 9.4	18.7 ± 7.0	< 0.001 **
調製後葉重率 (%)	32.6 ± 5.3	31.6 ± 8.4	35.3 ± 9.9	42.2 ± 11.2	36.3 ± 12.9	36.1 ± 14.3	0.046 *
調製後葉数 (枚)	4.1 ± 0.6	3.8 ± 1.1	3.5 ± 0.8	4.8 ± 0.9	4.2 ± 1.1	4.9 ± 1.4	< 0.001 **
花茎の太さ	5.0 ± 0.0	4.5 ± 0.7	4.8 ± 0.5	5.7 ± 1.2	5.5 ± 0.8	5.7 ± 2.3	0.605
花茎の着色	3.0 ± 0.0	2.5 ± 0.7	2.0 ± 0.0	2.0 ± 0.0	2.2 ± 0.4	3.0 ± 1.7	0.224
小葉数の多少	2.0 ± 0.0	2.0 ± 0.0	1.8 ± 1.0	2.3 ± 0.6	1.9 ± 0.5	1.3 ± 0.6	0.504
葉面の毛じの有無	1.0 ± 0.0	1.0 ± 0.0	1.0 ± 0.0	1.0 ± 0.0	1.3 ± 1.1	6.3 ± 4.6	0.004 **
鋸歯の多少	4.0 ± 0.0	5.0 ± 0.6	4.5 ± 0.4	3.7 ± 1.2	3.9 ± 0.8	3.0 ± 0.0	0.356
葉の光沢の有無	1.0 ± 0.0	1.0 ± 0.0	3.0 ± 3.6	3.7 ± 4.0	1.0 ± 2.1	2.2 ± 2.0	0.440

^zグループ5は測定に含まれた系統が少なかつたため、平均値を算出せず

^y表現型を調査した品種・系統のうち、グループ1～5および*B. rapa*にも含まれない品種・系統

^x一元配置分散分析により、*は5%、**は1%水準で有意性があることを示す

^w平均値±標準偏差

^v測定に含まれた系統が1系統のみであったため、算出せず。グループ1のほかの項目については、主成分分析には含まれなかつたが、一部の項目で測定を行った系統を含む

考 察

本研究では、日本国内における葉茎菜用セイヨウアブラナの遺伝的多様性を明らかにすることを目的に、日本国内の葉茎菜用セイヨウアブラナを中心とする MBN-1～MBN-60 の計 60 品種・系統について、遺伝子解析を行った。遺伝子解析は、反復回数の変異による多型性を有し、共優性である SSR マーカーおよび塩基置換による多型性を有し、共優性である SNP マーカーの 2 種類を用いて行い（津村，2012），コアコレクションを含めた，両解析法による品種・系統間の遺伝的距離には，有意な相関関係が認められた（第 1-1 図）。そのため，以降の遺伝的距離に基づく，多変量解析や，遺伝的集団構造，類縁関係などの解析結果では，SSR および SNP 解析で類似した傾向が見られた。

葉茎菜用セイヨウアブラナを中心とする収集した品種・系統について，農業生物遺伝資源ジーンバンクに保管されている，セイヨウアブラナのコアコレクション計 138 品種・系統（Chen ら，2017）のデータを含めて解析した結果，葉茎菜用セイヨウアブラナを中心とする MBN-1～MBN-60 のほとんどの品種・系統が，コアコレクションの範囲内にプロットされた（第 1-2 図，第 1-3 図）。コアコレクションは日本国内と海外を原産とする品種・系統から構成されており，葉茎菜用セイヨウアブラナを中心とする MBN-1～MBN-60 のほとんどの品種・系統は，主座標 1 もしくは主成分 1 の得点が低い傾向であり，コアコレクションのなかでも日本国内を原産とする品種・系統（Chen ら，2017）の近くにプロットされた。従って，日本国内における葉茎菜用セイヨウアブラナのほとんどは，日本国内を原産とするセイヨウアブラナに由来するものと考えられた。

本研究では，DNA マーカーについて，Chen ら（2017）を基準とした SSR マーカーを 30 個，SNP マーカーを 5,233 個使用して 60 品種・系統の遺伝子型による遺伝的多様性を解析した。Chen ら（2017）は，582 品種・系統のセイヨウアブラナに対

して、本研究と類似した 30 個の SSR マーカーを用いて遺伝子解析を行った結果、遺伝的多様性指数の平均値は、 N_a が 10.37 個、 N_e が 7.13 個、 H_o が 0.05、 H_e が 0.57、PIC が 0.52 であった。本研究の各解析法におけるすべてのマーカーにおける遺伝的多様性指数の平均値は、Chen ら (2017) に比べて値が低い傾向であった。しかし、Chen ら (2017) は、SSR マーカーによるセイヨウアブラナの遺伝子解析において、PIC 値が、ほかのアブラナ属の研究に比べて低いことを指摘しており、本研究の PIC 値からも同様に、Chen ら (2017) が指摘するセイヨウアブラナの遺伝的な基盤の狭さが、葉茎菜用セイヨウアブラナでも反映されているものと推察される。

725

730 日本国内における葉茎菜用セイヨウアブラナの遺伝的多様性を明らかにすることを目的に、日本国内の広い地域から収集した 60 品種・系統を、Structure 解析と遺伝的距離のデータに基づく UPGMA 系統樹を作成することによって解析した。日本国内の葉茎菜用セイヨウアブラナは、ほかのアブラナ属の葉茎菜に比べて、市販品種の数が少ないものの、地域の種苗店や生産振興などを目的とする公的研究機関において、ほ

735 かの地域の在来種を用いて系統育成した可能性が示唆され、本研究では、既報 (Mazzeo ら, 2019) に比べると、原産地の違いの影響が、明確かつ全体的には現れなかった。そのため、収集した品種・系統の約 3 分の 1 は、明確なクラスターの分配確率もしくは系統樹における遺伝的な類縁関係を示さず、最終的な系統群として分類されなかった (第 1-10 図)。しかし、本研究から、計 5 つの葉茎菜用セイヨウアブラナからなる

740 系統群 (グループ 1~5) が確認され、そのうちの 4 つの系統群 (グループ 1, 2, 4 および 5) には、以下に述べるような原産地の特徴が見られた。系統群の遺伝的な分化の指標となる F_{st} は、葉茎菜用セイヨウアブラナと形態が類似するイタリア共和国南部の「ブロッコリーレーブ」 (*B. rapa* L. subsp. *sylvestris* (L.) Janch.) の在来種について、遺伝的集団構造を SSR マーカーで解析した既報 (Mazzeo ら, 2019) で報告された

745 値 (0.357; $P < 0.001$) に比べるとやや低かったものの、本研究においても有意な値 (0.307)

を確認することができた。しかし、既報 (Mazzeo ら, 2019) では、SSR 遺伝子座における H_o の平均値は 0.41 であり、本研究の H_o は低い値を示した。また、収集した品種・系統全体のレベルでの遺伝的な固定度を示す F_{it} も比較的高い値を示したため、日本国内の葉茎菜用セイヨウアブラナは、遺伝的に固定しており、遺伝子型がホモの傾向にあるものと考えられた。

収集した品種・系統について、Structure 解析ではいずれの解析法においても、 $\Delta K = 2$ および $\Delta K = 3$ で値が高かった。そのため、 $K = 2$ の Structure 解析結果を見たところ、SSR, SNP 解析ともに、川崎市 (農業技術支援センター) で栽培している 8 品種・系統が、SSR 解析では、生産者および市販品種の「のらぼう菜」の計 4 品種・系統がほかの葉茎菜用セイヨウアブラナの品種・系統と区別され、「のらぼう菜」とされる品種・系統が固有な遺伝子型を示した。しかし、本研究では、「のらぼう菜」とされる品種・系統を計 24 品種・系統供試したが、そのうちの 12 品種・系統は、両解析法とも、ほかの葉茎菜用セイヨウアブラナの品種・系統と区別されなかった。そのため、それらの「のらぼう菜」の品種・系統は、クラスター1 (図中赤色) で区別された「のらぼう菜」とは遺伝子型が異なる「のらぼう菜」の在来種であるか、もしくは原産地や由来などが異なる葉茎菜用セイヨウアブラナと交配した種子である可能性が示唆される。次に、Structure 解析と遺伝的距離に基づく UPGMA 系統樹の作成を行った結果、一部の品種・系統が、同じ原産地もしくは品種・系統名により分類され、それらの品種・系統から、葉茎菜用セイヨウアブラナから構成されるグループ 1~5 の品種・系統群が確認された (第 1-10 図)。各系統群の特徴をみると、グループ 1 は、いずれも川崎市の系統からなり、生産者が栽培する「のらぼう菜」を含んだ。また、川崎 No. 1, 川崎 No. 3, 川崎 No. 4, 川崎 No. 6, 川崎 No. 9, 川崎 No. 11, 川崎 No. 12 および川崎 No. 13 は、いずれも「のらぼう菜」とされる種子を川崎市が栽培している品種・系統であるため (第 1-1 表)、グループ 1 の品種・系統は、川崎市の「のらぼう菜」で構

770 成される系統群であると考えられる。同様に、グループ 2 も、「のらぼう菜」の品種・系統を多く含んだ。グループ 2 となった川崎 No. 15 は、東京都旧五日市町（あきる野市）に由来する種子を川崎市が栽培している品種・系統であり、旧五日市町（あきる野市）は、「のらぼう菜」のおもな産地であるため、東京都で採種された種子を由来とする「のらぼう菜」であると考えられる。また、ほかの「のらぼう菜」の品種・系統は、いずれも埼玉県もしくは東京都が原産であるため、グループ 2 は、「のらぼう菜」のなかでも、埼玉県および東京都の「のらぼう菜」で構成される系統群であると考えられる。

グループ 3 は、グループ 1 および 2 とは異なり、日本全国の広い地域を原産とする品種・系統で構成された。グループ 3 は、品種・系統名もそれぞれ異なったものの、780 表現型の抽苔性において、グループ 1～4 のなかでは成熟が早い傾向を示した（第 1-16 表）。成熟が早い形質については、商業的な生産に有用な形質であると考えられる。グループ 3 となった川崎 No.14 は、「のらぼう菜」として川崎市が栽培している系統であるが、「のらぼう菜」のなかで最も成熟が早い系統とされている（北浦ら，2004）。さらに、「博多な花おいしい菜」は、葉茎タイプの生産量が全国 2 位である福岡県（平成 14 年度）（石田，2004）で栽培され、関東地方にも出荷されている（高橋，2005）。

785 ‘三陸つぼみ菜’についても、成熟が早いとされる品種であることから（奥山ら，1995），グループ 3 は、原産地および品種・系統名が異なるものの、葉茎菜用セイヨウアブラナのなかでは、成熟が早い傾向を示す品種・系統から構成される系統群であると考えられた。

790 グループ 4 は、栃木県および群馬県を原産とする「宮内菜」と「かき菜」の 5 品種・系統および川崎市農業支援センターで栽培している 2 系統の計 7 品種・系統を含んだ。「かき菜」において、「かき菜」の市販品種は、栃木県および群馬県で広く販売されている。また、川崎 No. 18 および川崎 No. 20 は、川崎市農業支援センターで栽培して

いる品種・系統であり，特に川崎 No. 18 は，「宮内菜」を由来とする品種・系統である．また，川崎 No. 20 は，表現型において，ほかの川崎市が栽培している系統には見られない葉の光沢が確認されたため（データ略），グループ 1 の「のらぼう菜」の系統群とは異なり，「宮内菜」もしくは「かき菜」が由来の可能性がある．そのため，グループ 4 は，栃木県および群馬県を原産とする「宮内菜」と「かき菜」で構成される系統群であると考えられる．

最後に，グループ 5 は，福島県の 2 品種・系統および新潟県の品種（‘ちぢみ五月菜’）を含み，計 3 品種・系統から構成された．本研究では，新潟県を原産とする 4 品種・系統を供試したが，それらの品種・系統は，‘ちぢみ五月菜’を除き，Structure 解析において主要なクラスターの分配確率が異なることが多く，最終的な系統群には分類されなかった．そのため，新潟県の葉茎菜用セイヨウアブラナの遺伝資源は，品種・系統によって由来が異なる可能性がある．一方，福島県を原産とする 3 品種・系統は，いずれも最終的な系統群に分類された．そのうちの‘三陸つぼみ菜’は，別の系統群に分類されたものの，原産地が類似した在来種の系統群（グループ 1, 2 および 4）ではなく，成熟が早い傾向を示し（評点は 6），日本全国の広い地域を原産とする品種・系統の系統群（グループ 3）に分類された．そのため，グループ 5 は，おもに福島県を原産とする「かぶれ菜」で構成される系統群であると推察する．

以上から，SSR および SNP マーカーを用いた遺伝子解析により，川崎市の「のらぼう菜」の集団，埼玉県および東京都の「のらぼう菜」の集団および栃木県および群馬県の「宮内菜」または「かき菜」を含む集団のように，地域的に分化した葉茎菜用セイヨウアブラナの集団が確認された．加えて，グループ 3 のように，日本全国の広い地域を原産とするものの，成熟が早い傾向の形質を示す系統群も確認された．そのため，日本国内の葉茎菜用セイヨウアブラナは，遺伝的に多様であり，地域に在来し，

古くから栽培されている在来種の集団と，商業的な生産に有用な成熟の早い形質を持つ集団が存在するものと考えられた．

第2章 葉茎菜用セイヨウアブラナ在来種「のらぼう菜」の 遺伝的多様性

緒言

825 セイヨウアブラナの野菜類のうち，国内では，葉茎菜として花茎を食す文化が定着
している．葉茎菜用セイヨウアブラナの在来種「のらぼう菜」は，春季における重要
な地域伝統野菜として，関東地方で栽培されている．近年，「のらぼう菜」の種子は，
各地域における生産者の小規模な自家採種および自家消費が主流になっており，販売
も直売の形態が多い．それらの背景から，関東地方で生産される「のらぼう菜」の集
830 団全体は，多様であることが推察される．しかし，近年は生産者の高齢化の影響を受
け，自家採種によって生産される「のらぼう菜」の種子（遺伝資源）が減少傾向にあ
る．さらに，「のらぼう菜」の遺伝子型および形態形質と含有分量（以下，表現型）
の差異は，不明である．そのため，データの収集および解析を通じてそれらを把握す
ることは，在来種として現存する多様な「のらぼう菜」の保護および継続的な利用に
835 つながるものと考ええる．

本研究では，遺伝子型および表現型のレベルで「のらぼう菜」の多様性を解析する
ことを目的とし，生産および流通現場において取り扱われる花茎の形態形質と含有成
分量および SSR マーカーを用いた遺伝子解析を行った．

840 材料および方法

1. 供試材料

供試サンプルは，関東地方（埼玉県，東京都および神奈川県）の農産物直売所およ
び生産者から収集した．サンプリングは，南北の広範囲からできる限り多様に集める
ように行い，計4つの地域（A～D：第2-1図）から合計で22サンプルを収集した（第

845 2-1 表) . サンプルングの 1 つの採取地点 (第 2-1 図における地域内の黒点) につき 1
~3 サンプルを収集し, すべてのサンプルは 2015 年 4 月 20~25 日に収集した. 比較
対照として, 葉菜用セイヨウアブラナの在来種である「かき菜」を, また, 外群とし
て, 東京都多摩市から採取したコマツナ (*B. rapa* var. *rapifera*) の固定種をサンプルに
含めた. サンプルング後は, サンプルを直ちにクーラーボックス (約 10℃) に入れ,
850 研究施設に運搬後, プレハブ冷蔵庫 (温度: 5℃, 湿度: 80%, 容積: 8.25 m²) にて一
晩保存し, 翌日の午前中に分析を行った.

2. 表現型における多様性評価

表現型の形態形質については, 計 6 項目を調査した. このうち花茎における形態形
質は, 先行研究において, 花茎を可食部とする葉菜用セイヨウアブラナの形質調査
855 の事例がなかったため, 「のらぼう菜」の生産および流通現場における著者らの先行
研究 (柘植ら, 2015) を参考に, サンプル間で外観のレベルで差が見られると考えら
れた量的形質を中心に選んだ. 6 項目は, 花茎重 (g), 調製長 (cm, 切断面から葉先
まで), 花茎長 (cm, 切断面から花芽の先端まで), 葉重 (g), 葉数 (枚) および茎
径 (mm; 切断面) である (第 2-2 図). データを収集したのち, 葉重率 (%; 葉重 (g)
860 / 花茎重 (g) × 100) および葉先から花蕾の距離 (cm; 調製長 (cm) - 花茎長 (cm))
を算出した. また, 生産者ごとに調製長および花茎長が異なったため, 花茎重 (g) を
調製長 (cm) で割った単位花茎重 (g · cm⁻¹), 葉数 (枚) を花茎長 (cm) で割った単
位葉数 (枚 / cm) を算出した. なお, A-N-3 は, 表現型の調査用サンプルが不足した
ため, 形態形質を調査しなかった.

865 表現型の含有成分については, 葉緑素の SPAD 値, 可溶性固形物の Brix, アスコル
ビン酸, カルシウムおよび硝酸 (NO₃⁻) 含量の計 5 項目を測定した. SPAD 値は, 各
サンプルの花茎から 10 枚の最大葉を選抜し, 葉緑素計 (SPAD-502 plus, コニカミノ
ルタ (株)) を用いて測定した. 茎部における Brix は, デジタル式糖度計 (PR-201 α,

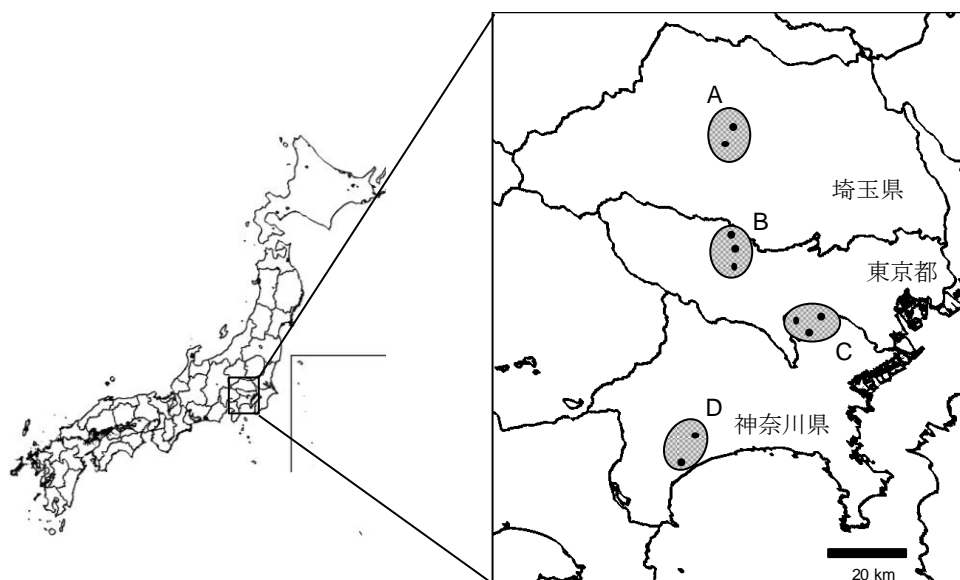
(株)アタゴ)を用いて5反復測定した。アスコルビン酸、カルシウムおよび硝酸(NO_3^-)
870 含量は、RQ フレックス (Merck Ltd.) を用いて、1 サンプル当たり 3~5 反復で測定し
た。なお、アスコルビン酸とカルシウム (Hanson ら, 2009) および硝酸 (Kaidzuka,
2009) の3成分は、形態形質に基づく多様性解析の指標として、アブラナ属野菜品目
における先行研究で品種間差が報告されている重要な成分のなかから選んだ。アスコ
875 ルビン酸は、花茎から5gの新葉を採取し、45 mLの8%メタリン酸溶液を加えて、家
庭用ミキサー (BM-RS 型, 象印マホービン (株)) で40秒間破碎し、ろ過をして抽
出した。カルシウムおよび硝酸(NO_3^-)は、50gの新鮮な花茎を、350 mLの蒸留水
を加えて、家庭用ミキサー (BM-HS08 型, 象印マホービン (株)) を用いて1分間破碎
し、ろ過をして抽出した。

収集したすべての表現型データは、エクセル統計 2012 ((株) 社会情報サービス)
880 を用いて、主成分分析およびクラスター分析を行い、サンプルのグルーピングを行っ
た。データは、大井・佐藤 (2002) を参考に、統計処理の前に標準化を行った。なお、
サンプルの量が不足したため、D-K-2 および A-N-3 (第 2-1 表) は含有成分の解析に含
めなかった。

3. 遺伝子型における多様性評価 (SSR 解析)

885 DNA の抽出は、各サンプルの幼葉から、DNeasy プラントミニキット (Qiagen, Hilden,
Germany) の標準プロトコールを参考にして行った。1 サンプルにつき1枚の幼葉を選
んで分析に用いた。SSR マーカーは、既報 (Chen ら, 2017) に基づき、明瞭で再現性
があり、多型が認められた計24個を選ぶことにより、遺伝子型に基づく多様性解析に
用いた (第 2-5 表)。SSR 遺伝子座の A および C ゲノムの数は、それぞれ15 および
890 9 であった。PCR 反応では、DNA テンプレート 10 ng, 1×KAPA 2G バッファー,
dNTP200 nM, MgCl_2 0.5 mM, 0.1U KAPA 2G Fast DNA ポリメラーゼ (KAPA Biosystems,
Inc.), 2 μM のリバースプライマーおよび 0.5 μM のフォワードプライマーを含む 10 μL

の反応溶液を用いた。なお、フォワードプライマー配列の 5'末端に 4 つの蛍光標識 (6-FAM, VIC, NED および PET) を付加した (Shimizu・Yano, 2011)。PCR 反応は、
895 C1000 サーマルサイクラー (Bio-Rad Laboratories, Inc.) において、初期変性で 94°C を
3 分間行い、続いて 94°C の 20 秒、54°C の 30 秒および 62°C の 30 秒を 30 回、94°C の 20
秒、49°C の 10 秒および 72°C の 5 秒を 3 回、そして最後に 72°C の 10 分とした。増幅
物は、GeneScan-600LIZ size standard (Applied Biosystems, Inc.) とともに、DNA アナ
ライザー (model 3130x1, Applied Biosystems, Inc.) を用いて評価し、GeneMapper (Applied
900 Biosystems, Inc.) で断片長を測定した。遺伝的多様性指数、サンプル間の Nei の遺伝
的距離 (Nei ら, 1983) および主座標分析 (PCoA) は、GenAlEx 6.502. (Peakall・Smouse,
2012) を用いて計算した。遺伝的多様性指数については、異なる対立遺伝子数 (N_a)、
有効な対立遺伝子数 (N_e)、Shannon の多様度指数 (I)、ヘテロ接合度の観測値 (H_o)
およびヘテロ接合度の期待値 (H_e) を各マーカーに対して算出した。各マーカーの多
905 型情報含有値 (PIC) は、Cervus 3.0.7. (Kalinowski ら, 2007) で算出した。NJ (近隣
結合) 系統樹は、Populations 1.2.32. (Langella, 1999) で得られた Nei の遺伝的距離に
基づき、MEGA 6.0 (Tamura ら, 2013) を用いて作成した。ブートストラップ値 (1000
反復) は、PowerMarker (Liu・Muse, 2005) および Phylip (Felsenstein, 1989) を用い
て算出し、NJ 系統樹にデータを付加した。



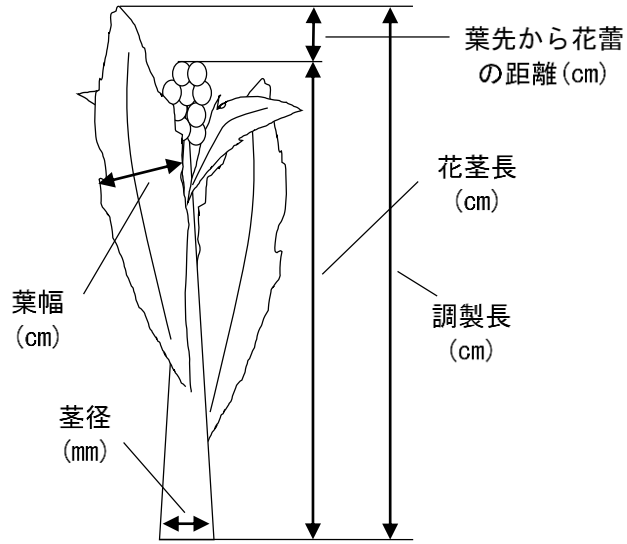
第 2-1 図 関東地方における「のらぼう菜」および「かき菜」22 サンプル
のサンプリング地域（円内網かけの領域：A～D）
サンプリング地域内の黒点は、サンプリング地点を示す

第2-1表 埼玉県，東京都および神奈川県の農産物直売所および生産者から収集した「のらぼう菜」および「かき菜」サンプルの一覧

サンプル	品目名 ^z	サンプリング地域 ^y	市町村	都道府県
A-N-1	のらぼう菜	A	嵐山	埼玉
A-N-2	のらぼう菜	A	嵐山	埼玉
A-N-3	のらぼう菜	A	嵐山	埼玉
A-N-4	のらぼう菜	A	ときがわ	埼玉
A-K	かき菜	A	ときがわ	埼玉
B-N-1	のらぼう菜	B	青梅	東京
B-N-2	のらぼう菜	B	青梅	東京
B-N-3	のらぼう菜	B	青梅	東京
B-N-4	のらぼう菜	B	羽村	東京
B-N-5	のらぼう菜	B	羽村	東京
B-N-6	のらぼう菜	B	あきる野	東京
B-N-7	のらぼう菜	B	あきる野	東京
B-N-8	のらぼう菜	B	あきる野	東京
C-N-1	のらぼう菜	C	川崎	神奈川
C-N-2	のらぼう菜	C	川崎	神奈川
C-N-3	のらぼう菜	C	川崎	神奈川
D-N-1	のらぼう菜	D	秦野	神奈川
D-N-2	のらぼう菜	D	秦野	神奈川
D-N-3	のらぼう菜	D	小田原	神奈川
D-N-4	のらぼう菜	D	小田原	神奈川
D-K-1	かき菜	D	秦野	神奈川
D-K-2	かき菜	D	小田原	神奈川

^z 販売物のパッケージに表示または生産者から聞き取った品目名である

^y 第2-1図を参照



第 2-2 図 花茎の測定部位を示す模式図

結 果

1. 表現型における多様性評価

「のらぼう菜」および「かき菜」21 サンプル（A-N-3 およびを除いた）における表
925 現型の計 11 項目を分析した結果、形態形質 6 項目の全サンプルにおける平均は、単位
花茎重が $0.49 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-1}$ 、葉重率が 37.0%、葉先から花蕾の距離が 3.1 cm、単位葉数が
0.17 枚/cm、葉幅が 6.4 cm、茎径が 7.0 mm であった（第 2-2 表）。また、含有成分
の 5 項目の全サンプルにおける平均は、総合の平均で、SPAD 値が 43.5、Brix が 5.6° 、
アスコルビン酸含量が $140 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}\text{FW}$ 、カルシウム含量が $63 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}\text{FW}$ 、硝
930 酸 (NO_3^-) 含量が $80 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}\text{FW}$ であった（第 2-2 表）。葉幅の最大値（9.1 cm）
およびアスコルビン酸とカルシウム含量の最大値（それぞれ $213 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}\text{FW}$ およ
び $121 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}\text{FW}$ ）は、いずれも C-N-2 で確認された。単位花茎重および葉重率
の最大値（それぞれ $0.74 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-1}$ および 47.1%）は B-N-7 で、SPAD 値の最大値（52.5）
は D-N-1 で、単位葉数および硝酸 (NO_3^-) 含量の最大値（それぞれ 0.26 枚/cm およ
935 び $175 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}\text{FW}$ ）は D-N-3 で確認された。一方、C-N-3 は、単位花茎重、葉重
率、葉先から花蕾の距離、単位葉数および茎径の計 5 つの形態形質の項目で、最小値
（それぞれ $0.21 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-1}$ 、26.4%、0.0 cm、0.15 枚/cm および 4.4 mm）を示した。含
有成分の SPAD 値、Brix、およびカルシウム含量は、A-K および D-K-1 の 2 つの「か
き菜」サンプルで最小値（37.1、 4.4° および $30 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}\text{FW}$ ）を示した。硝酸 (NO_3^-)
940 含量の最小値（ $9 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}\text{FW}$ ）は、C-N-1 で検出され、最大値（ $175 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}\text{FW}$;
D-N-3 で検出）に対して 4.9%であった。

次に、項目間の相関係数を算出した結果、単位花茎重、葉重率、葉先から花蕾の距
離、単位葉数、葉幅および茎径の 6 項目間において、4 組合せ（単位花茎重と単位葉
数、葉先から花蕾の距離と単位葉数、単位葉数と葉幅および単位葉数と茎径）を除き、
945 相互に有意な正の相関関係が認められた（第 2-3 表）。硝酸 (NO_3^-) は、単位花茎重

および葉幅の2つの項目との間に有意な正の相関関係(それぞれ 0.448*および 0.490*)が認められた。また、Brix とカルシウムとの間にも、有意な正の相関関係 (0.563**)が認められた。

「のらぼう菜」および「かき菜」20 サンプル (A-N-3 および D-K-2 を除いた) における表現型の計 11 項目について主成分分析を行った結果、主成分 1 の固有値が 4.56、寄与率が 41.50% であり、主成分 2 の固有値が 2.25、寄与率が 20.41% であった (第 2-4 表)。また、固有値が 1.00 以上であった主成分 4 までの累積寄与率は 81.24% であった。主成分 1 の因子負荷量は、単位花茎重、葉重率、葉先から花蕾の距離、葉幅、茎径および硝酸 (NO_3^-) が正で高い値を示した。主成分 2 の因子負荷量は、Brix およびカルシウムが正で高い値を示した。主成分 3 では、単位葉数が負で高い絶対値を示し、主成分 4 では、アスコルビン酸が負で高い絶対値を示した。次に、クラスター分析を行い、その結果 (第 2-3 図) を主成分 1 および主成分 2 の主成分得点による散布図に反映したところ、全サンプルは、クラスター分析の結果に基づいて 3 つのクラスターで配置された (第 2-4 図)。その主成分得点散布図において、クラスター I および III は、それぞれ全体の 60% および 30% のサンプルを含んだ。グループ I は、主成分 1 のプラス方向でプロットされたサンプルを多く含み、花茎が重く、葉部の割合が多く、花蕾が葉部に覆われており、茎が太い形態形質を示した。クラスター III は、主成分 1, 2 ともにプラス方向でプロットされたサンプルを含み、クラスター I と同様な形態形質に加え、Brix やカルシウムなどの含有成分が高い特徴を示した。一方、クラスター II は、全体の 10% のサンプルを含んだ。クラスター II は、主成分 1 のマイナス方向でプロットされたサンプルを含み、花茎が軽く、葉部の割合が少なく、花蕾が葉部から出ており、茎が細い形態形質を示した。最後に、2 つの「かき菜」サンプル (A-K および D-K-1) は、いずれも「のらぼう菜」サンプルから離れた位置にプロットされなかった。

970 2. 遺伝子型における多様性評価

SSR 解析における遺伝子型の解析の結果，コマツナを除く「のらぼう菜」および「かき菜」22 サンプルにおいて，24 個の SSR マーカーの遺伝子座で 95 個の異なる対立遺伝子 (N_a) が検出された (第 2-5 表)．また， N_a は，1 遺伝子座につき 2~9 個の範囲で，平均にすると 3.96 個が検出された．なお， N_a の最高値は BoGMS2016 で示された．有効な対立遺伝子数 (N_e) は，1.04~3.91 の範囲で，平均にすると 2.06 であり，BoGMS2016 で最高値を示した．Shannon の多様度指数 (I) は，0.10~1.69 の範囲で，平均にすると 0.81 であり，BoGMS2016 で最高値を示した．次に，ヘテロ接合度の観測値 (H_o) は，0.00~1.00 の範囲で，平均にすると 0.15 であり，BrGMS1569 で最高値を示した．ヘテロ接合度の期待値 (H_e) は，0.04~0.54 の範囲で，平均にすると 0.27 であり，BnGMS0353 で最高値を示した．最後に，PIC は，0.04~0.68 の範囲で，平均にすると 0.36 であり，BoGMS2016 で最高値を示した．

本研究では，1 つの遺伝子座で多型を示す SSR マーカー (Chen ら，2017) を用いて解析し，その特性を利用して，A および C ゲノム由来の SSR 遺伝子座における対立遺伝子の発現率を算出した．コマツナはすべての A ゲノム由来の遺伝子座で対立遺伝子が発現し，C ゲノム由来の遺伝子座は 1 つの遺伝子座のみ発現が確認された (第 2-6 表)．「かき菜」のすべてのサンプルの平均は，A ゲノム由来の遺伝子座で 97.8% の発現が確認され，C ゲノム由来の遺伝子座ではすべての遺伝子座で発現が確認された．「のらぼう菜」のすべてのサンプルの平均は，A ゲノム由来の遺伝子座で 98.9% の発現が確認され，C ゲノム由来の遺伝子座ではすべての遺伝子座で発現が確認された．

990 Nei の遺伝的距離に基づいてクラスター解析を行い，NJ 系統樹を作成した結果，本研究で供試した計 23 サンプルが，ブートストラップ値 100 と 58 で 3 つのグループとコマツナに別れた (第 2-5 図)．なお，遺伝子型の系統樹では，表現型のクラスターと区別するため，分類されたサンプル群をグループと呼ぶ．グループ 1 は，グループ

1a および 1b のサブグループを含み、ブートストラップ値 35 で別れた。グループ 1a
995 は、東京都内の地域 B から集めた「のらぼう菜」4 サンプルおよび埼玉県内の地域 A
から集めた「かき菜」1 サンプルから構成された（第 2-1 表）。グループ 1a における
すべての「のらぼう菜」サンプルは、同じ地域 B 内で栽培されており、地理的に近か
った。しかし、「かき菜」サンプルである A-K も、グループ 1a の「のらぼう菜」サ
ンプルのなかに分類された。次に、グループ 1b は、全体の 52% のサンプルを占める
1000 最も大きなグループであり、3 つの地域（A, B および D）から集めた「のらぼう菜」
12 サンプルから構成された。そのうち、B-N-2 と B-N-3 は、いずれも同じ地域 B から
集めたため、地理的に関係が近かった。しかし、A-N-2 と D-N-3 および A-N-3 と D-N-
4 の 2 つの組合せは、遺伝的に近かったものの、地理的には最も遠かった（第 2-1 図）。
一方、神奈川県川崎市内にある地域 C（第 2-1 図）から集めたすべての「のらぼう菜」
1005 サンプル（C-N-1, C-N-2 および C-N-3）は、いずれもグループ 2 に分類された。グル
ープ 2 は、グループ 1 とはブートストラップ値 58 で別れた。最後に、神奈川県南西
部の地域 D（第 2-1 図）から集めた 2 つの「かき菜」サンプル（D-K-1 および D-K-2）
は、グループ 3 に分類され、グループ 1 および 2 から、ブートストラップ値 100 で別
れた（第 2-5 図）。

1010 3. 各サンプルにおける表現型と遺伝子型の関係性

表現型の計 11 項目における平均値を、異なる遺伝子型のグループごとに算出した
（第 2-7 表）。その結果、異なる遺伝子型のグループ間における分散分析により、す
べての表現型の項目に有意性が確認され、茎径が、最も高い F 値 (23.2) を示した。
グループ 1 は、アスコルビン酸含量が少ない傾向であった ($133 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}\text{FW}$)。し
1015 かし、グループ 1 は、単位花茎重および葉幅の値がほかのグループに比べて有意に高
く、葉重率がほかのグループに比べて高い傾向であった。グループ 2 は、地域 C（第
2-1 図）から収集した「のらぼう菜」サンプルからなり、ほかのグループに比べて葉先

から花蕾の距離, 単位葉数および茎径の値が有意に低く, 葉重率が低い傾向であった.

しかし, グループ 2 のアスコルビン酸含量は, ほかのグループに比べて多い傾向であ

1020 った. グループ 3 は, SPAD 値, Brix およびカルシウム含量の値が有意に低く, 特に
カルシウム含量は, グループ 2 のカルシウム含量に対して 35%であった.

第2-2表 「のらぼう菜」および「かき菜」21サンプルにおける表現型の計11項目の平均値^z

サンプル	単位花茎重 (g・cm ⁻¹)	葉重率 (%)	葉先から花蕾 の距離 (cm)	単位葉数 (枚/cm)	葉幅 (cm)	茎径 (mm)	SPAD値	Brix (°)	アスコルビン酸 (mg・100g ⁻¹ FW)	カルシウム (mg・100g ⁻¹ FW)	硝酸 (NO ₃) (mg・100g ⁻¹ FW)
A-N-1	0.49 ± 0.10 ^y	45.8 ± 8.5	4.8 ± 1.5	0.21 ± 0.04	7.4 ± 1.5	7.0 ± 0.9	44.2 ± 3.7	5.0 ± 0.2	105 ± 10	62 ± 15	116 ± 7
A-N-2	0.54 ± 0.10	37.1 ± 5.7	6.8 ± 1.3	0.17 ± 0.03	7.2 ± 0.9	7.4 ± 0.7	46.6 ± 3.0	5.8 ± 0.4	139 ± 5	70 ± 16	87 ± 11
A-N-4	0.52 ± 0.11	38.2 ± 3.6	3.9 ± 1.1	0.16 ± 0.02	7.4 ± 0.9	7.6 ± 0.9	48.3 ± 2.0	5.4 ± 0.2	149 ± 18	55 ± 2	110 ± 21
A-K	0.36 ± 0.09	30.2 ± 8.0	2.8 ± 1.0	0.16 ± 0.03	5.4 ± 1.3	5.6 ± 0.8	38.1 ± 3.8	4.4 ± 0.2	105 ± 12	66 ± 2	91 ± 13
B-N-1	0.35 ± 0.06	34.0 ± 5.8	2.7 ± 1.9	0.17 ± 0.04	5.6 ± 1.4	5.9 ± 0.6	38.7 ± 4.3	6.0 ± 0.7	94 ± 30	58 ± 18	87 ± 25
B-N-2	0.46 ± 0.07	34.9 ± 3.3	3.7 ± 1.0	0.16 ± 0.03	6.5 ± 0.8	7.0 ± 0.5	42.4 ± 4.1	6.4 ± 0.4	146 ± 37	80 ± 6	113 ± 10
B-N-3	0.68 ± 0.16	31.5 ± 9.5	0.9 ± 1.3	0.15 ± 0.03	8.5 ± 1.1	7.8 ± 1.1	48.6 ± 4.4	6.6 ± 0.2	188 ± 18	80 ± 21	138 ± 25
B-N-4	0.30 ± 0.06	27.3 ± 5.6	0.1 ± 0.3	0.15 ± 0.02	4.6 ± 1.2	5.2 ± 0.6	42.1 ± 3.3	6.8 ± 1.2	111 ± 3	87 ± 9	23 ± 11
B-N-5	0.49 ± 0.14	45.6 ± 10.7	5.3 ± 3.0	0.19 ± 0.05	7.0 ± 1.7	7.0 ± 1.2	49.3 ± 3.9	6.2 ± 0.3	119 ± 14	38 ± 4	33 ± 13
B-N-6	0.63 ± 0.16	43.2 ± 8.6	4.2 ± 2.5	0.19 ± 0.04	7.1 ± 1.6	8.4 ± 0.9	38.8 ± 4.7	5.9 ± 0.5	112 ± 18	66 ± 13	59 ± 16
B-N-7	0.74 ± 0.15	47.1 ± 14.4	6.1 ± 4.9	0.16 ± 0.05	8.9 ± 1.7	8.7 ± 1.3	45.4 ± 5.6	6.4 ± 0.2	124 ± 7	71 ± 31	124 ± 14
B-N-8	0.54 ± 0.09	47.0 ± 10.3	4.0 ± 2.1	0.17 ± 0.03	7.8 ± 1.9	7.7 ± 0.6	42.1 ± 4.0	5.5 ± 0.3	108 ± 9	58 ± 9	111 ± 16
C-N-1	0.23 ± 0.06	28.6 ± 8.0	0.1 ± 0.4	0.15 ± 0.02	3.5 ± 1.0	5.1 ± 0.8	42.5 ± 3.7	4.6 ± 0.2	139 ± 11	41 ± 5	9 ± 6
C-N-2	0.73 ± 0.13	42.9 ± 13.1	3.1 ± 1.9	0.16 ± 0.02	9.1 ± 1.5	8.3 ± 0.6	47.2 ± 3.4	6.1 ± 0.3	213 ± 28	121 ± 34	73 ± 43
C-N-3	0.21 ± 0.03	26.4 ± 3.2	0.0 ± 0.0	0.15 ± 0.03	3.6 ± 0.6	4.4 ± 0.5	42.8 ± 3.5	5.8 ± 0.3	159 ± 6	93 ± 11	88 ± 29
D-N-1	0.49 ± 0.06	38.7 ± 7.4	2.1 ± 1.4	0.15 ± 0.03	6.5 ± 0.8	7.2 ± 0.5	52.5 ± 1.6	4.8 ± 0.1	142 ± 14	42 ± 6	61 ± 17
D-N-2	0.57 ± 0.11	31.3 ± 10.1	2.9 ± 1.6	0.19 ± 0.03	6.0 ± 1.4	8.8 ± 0.8	38.2 ± 3.3	4.9 ± 0.2	121 ± 25	38 ± 7	55 ± 17
D-N-3	0.60 ± 0.11	43.0 ± 7.6	3.6 ± 1.5	0.26 ± 0.05	6.4 ± 1.2	7.9 ± 0.6	42.2 ± 3.5	5.5 ± 0.2	196 ± 40	57 ± 5	175 ± 27
D-N-4	0.36 ± 0.08	26.5 ± 8.1	0.8 ± 1.0	0.16 ± 0.05	4.4 ± 1.3	6.8 ± 0.8	43.1 ± 3.7	5.8 ± 0.3	140 ± 13	38 ± 7	20 ± 11
D-K-1	0.55 ± 0.13	38.8 ± 7.9	5.5 ± 2.0	0.18 ± 0.05	6.9 ± 1.3	8.4 ± 0.8	37.1 ± 4.8	4.7 ± 0.2	153 ± 22	30 ± 8	25 ± 9
D-K-2	0.32 ± 0.14	30.9 ± 11.5	1.3 ± 1.4	0.17 ± 0.04	4.4 ± 2.0	6.0 ± 1.2	43.6 ± 3.1	4.8 ± 0.2	128 ± 9	^x	-
平均	0.49 ± 0.18	37.0 ± 10.9	3.1 ± 2.7	0.17 ± 0.04	6.4 ± 2.1	7.0 ± 1.5	43.5 ± 5.4	5.6 ± 0.8	140 ± 36	63 ± 25	80 ± 46

分散分析^w **

^z A-N-3は調査せず

^y 平均値 ± 標準偏差 (単位花茎重, 葉重率, 葉先から花蕾の距離, 単位葉数, 葉幅, 茎径およびSPAD値:n=20, Brix, アスコルビン酸, カルシウムおよび硝酸 (NO₃) : n=3~5)

^x D-K-2はカルシウムと硝酸 (NO₃) を調査せず

^w 一元配置分散分析により, サンプル間の分散の有意性を検定した. **は1%水準で有意性があることを示す

第2-3表 「のらぼう菜」および「かき菜」21サンプルにおける表現型の計11項目間の相関係数

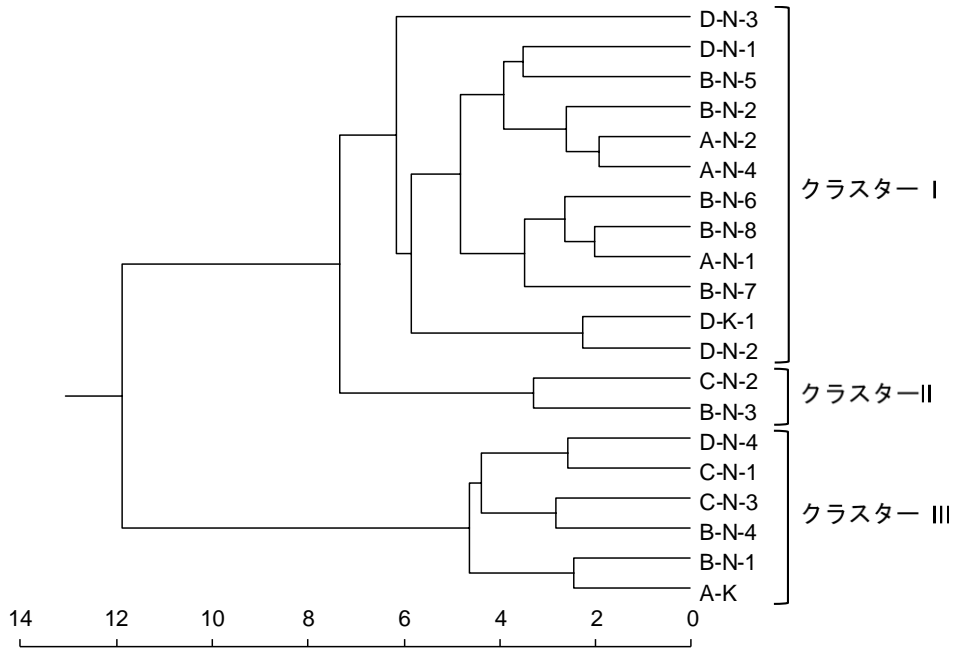
	単位花茎重	葉重率	葉先から花 蕾の距離	単位葉数	葉幅	茎径	SPAD値	Brix	アスコルビ ン酸	カルシウム	硝酸 (NO ₃)
単位花茎重	1.000										
葉重率	0.690 **z	1.000									
葉先から花蕾の距離	0.601 **	0.771 **	1.000								
単位葉数	0.324	0.479 *	0.411	1.000							
葉幅	0.927 **	0.774 **	0.664 **	0.186	1.000						
茎径	0.923 **	0.635 **	0.629 **	0.388	0.798 **	1.000					
SPAD値	0.262	0.249	0.041	-0.239	0.374	0.096	1.000				
Brix	0.214	0.050	-0.037	-0.130	0.256	0.037	0.259	1.000			
アスコルビン酸	0.369	-0.009	-0.150	0.085	0.256	0.250	0.366	0.147	1.000		
カルシウム	0.166	-0.026	-0.154	-0.256	0.245	-0.131	0.152	0.563 **	0.386	1.000	
硝酸 (NO ₃)	0.448 *	0.384	0.279	0.361	0.490 *	0.277	0.159	0.182	0.279	0.342	1.000

z ピアソンの相関係数により, *は5%, **は1%水準で有意であることを示す

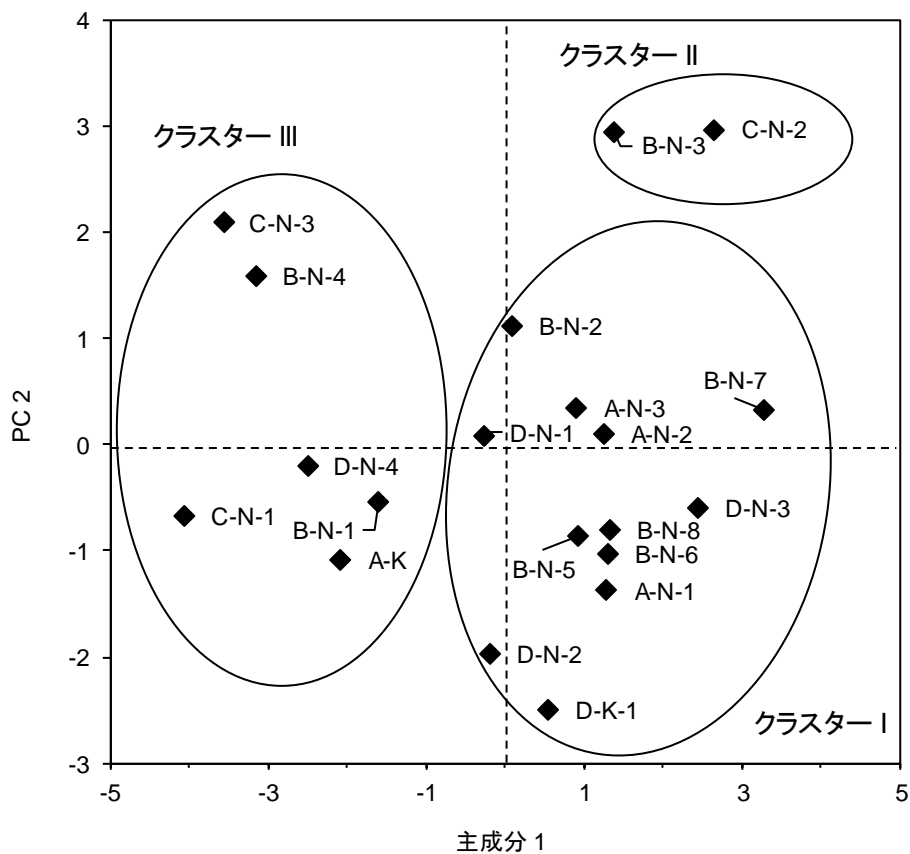
第 2-4 表 「のらぼう菜」および「かき菜」20 サンプルにおける表現型の計 11 項目を対象とした主成分 1 および 2 の 固有値, 寄与率および因子負荷量

	主成分 1	主成分 2	主成分 3	主成分 4
固有値	4.56	2.25	1.11	1.02
寄与率 (%)	41.50	20.41	10.10	9.24
累積寄与率 (%)	41.50	61.91	72.00	81.24
	因子負荷量			
単位花茎重	0.942	0.073	0.055	-0.099
葉重率	0.846	-0.240	0.120	0.158
葉先から花蕾の距離	0.748	-0.417	0.154	0.253
単位葉数	0.455	-0.478	-0.596	-0.072
葉幅	0.940	0.137	0.189	0.060
茎径	0.858	-0.202	0.093	-0.182
SPAD 値	0.305	0.503	0.512	-0.316
Brix	0.206	0.661	0.023	0.492
アスコルビン酸	0.302	0.560	-0.278	-0.656
カルシウム	0.139	0.812	-0.240	0.308
硝酸 (NO ₃ ⁻)	0.571	0.239	-0.522	0.092

² D-K-2 および A-N-3 は調査せず



第 2-3 図 「のらぼう菜」および「かき菜」20 サンプルにおける表現型の違いに基づいて作成した樹形図(ウォード法)



第 2-4 図 「のらぼう菜」および「かき菜」20 サンプルの表現型を用いた主成分分析における第 1 および第 2 主成分得点による散布図
A-N-3 および D-K-2 は調査せず

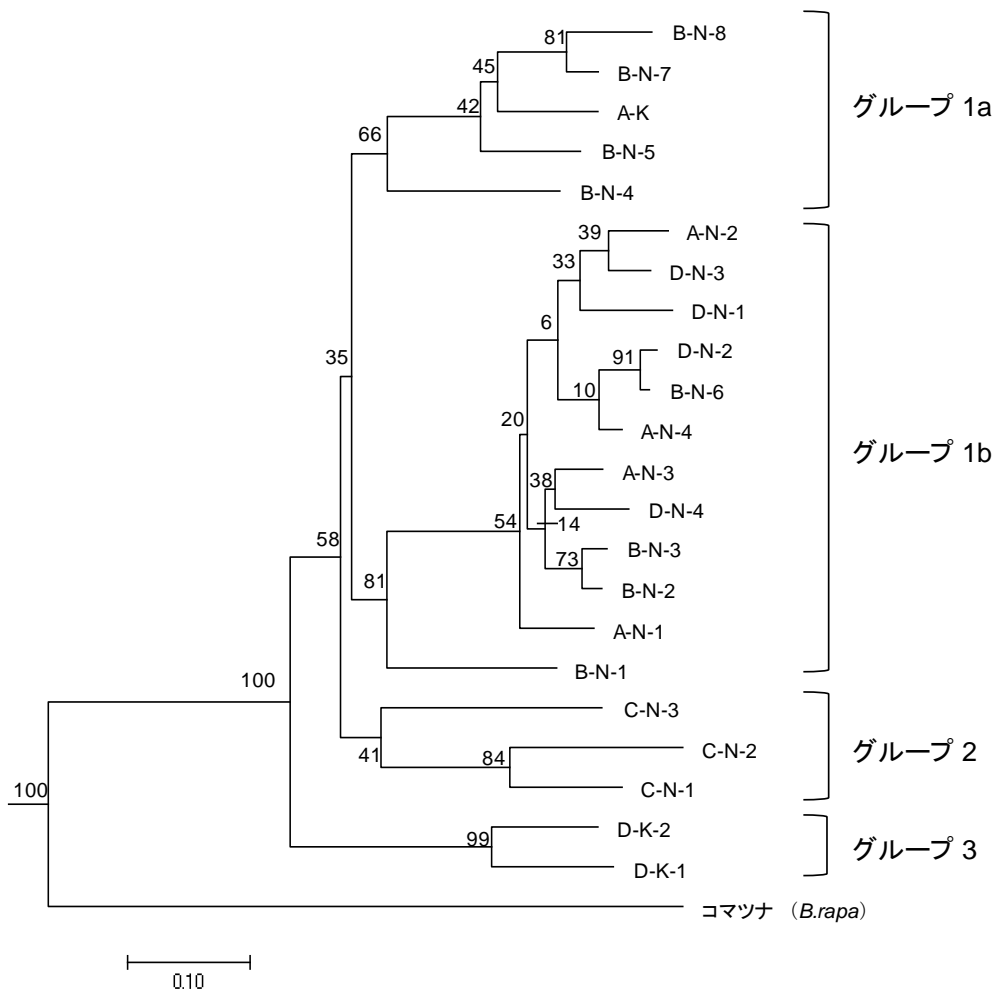
第 2-5 表 「のらぼう菜」および「かき菜」22 サンプルにおいて解析した 24 個の SSR マーカーにおける遺伝的多様性指標 ²

マーカー名	連鎖群	<i>Na</i>	<i>Ne</i>	<i>I</i>	<i>Ho</i>	<i>He</i>	PIC
BrGMS4031	A1	3	1.51	0.62	0.08	0.13	0.16
BRAS084	A1	5	3.10	1.34	0.00	0.31	0.56
BrGMS1411	A2	2	1.04	0.10	0.06	0.05	0.04
BrGMS2498	A3	2	1.17	0.28	0.00	0.06	0.08
BrGMS1569	A3	3	2.16	0.83	1.00	0.53	0.44
BrGMS0070	A5	6	2.23	1.14	0.04	0.32	0.42
BnEMS0753	A6	4	1.46	0.65	0.13	0.24	0.29
BrGMS3750	A6	2	1.57	0.55	0.08	0.22	0.32
BrGMS3837	A7	5	2.24	1.02	0.00	0.35	0.42
BrGMS0742	A8	4	1.46	0.65	0.10	0.22	0.29
BnGMS0281	A9	3	2.35	0.94	0.00	0.40	0.46
BrGMS3688	A10	4	2.51	1.05	0.13	0.36	0.51
BrGMS3857	A10	4	2.81	1.12	0.65	0.47	0.57
BnEMS0048	A10	8	3.72	1.57	0.15	0.45	0.66
BrGMS0086	A10	8	3.03	1.41	0.31	0.39	0.54
BoGMS0660	C2	2	1.18	0.29	0.00	0.11	0.15
BoEMS0016	C2	5	2.89	1.20	0.13	0.38	0.57
BoGMS2016	C2	9	3.91	1.69	0.46	0.45	0.68
BnGMS0289	C3	3	1.52	0.62	0.00	0.22	0.33
BnGMS347	C4	2	1.60	0.56	0.08	0.26	0.32
BnGMS0353	C6	3	2.49	0.98	0.13	0.54	0.51
BnGMS0336	C8	4	1.13	0.29	0.04	0.04	0.04
BoGMS1567	C9	2	1.28	0.38	0.00	0.06	0.08
BoGMS2504	C9	2	1.04	0.10	0.04	0.04	0.04
平均		3.96	2.06	0.81	0.15	0.27	0.36

²*Na*=異なる対立遺伝子数, *Ne*=有効な対立遺伝子数, *I*=Shannon の多様度指数, *Ho*=ヘテロ接合度の観測値, *He*=ヘテロ接合度の期待値, PIC=多型情報含有値

第 2-6 表 A および C ゲノム由来の SSR 遺伝子座における対立遺伝子の発現率

サンプル	品目名	A ゲノム由来の遺伝子座			C ゲノム由来の遺伝子座		
		発現あり	発現なし	発現率 (%)	発現あり	発現なし	発現率 (%)
コマツナ	コマツナ	15	0	100	1	8	11.1
A-K	かき菜	14	1	93.3	9	0	100
D-K-1	かき菜	15	0	100	9	0	100
D-K-2	かき菜	15	0	100	9	0	100
	かき菜の平均	14.7	0.3	97.8	9.0	0	100
A-N-1	のらぼう菜	15	0	100	9	0	100
A-N-2	のらぼう菜	15	0	100	9	0	100
A-N-3	のらぼう菜	15	0	100	9	0	100
A-N-4	のらぼう菜	15	0	100	9	0	100
B-N-1	のらぼう菜	15	0	100	9	0	100
B-N-2	のらぼう菜	15	0	100	9	0	100
B-N-3	のらぼう菜	15	0	100	9	0	100
B-N-4	のらぼう菜	15	0	100	9	0	100
B-N-5	のらぼう菜	15	0	100	9	0	100
B-N-6	のらぼう菜	15	0	100	9	0	100
B-N-7	のらぼう菜	15	0	100	9	0	100
B-N-8	のらぼう菜	15	0	100	9	0	100
C-N-1	のらぼう菜	15	0	100	9	0	100
C-N-2	のらぼう菜	14	1	93.3	9	0	100
C-N-3	のらぼう菜	14	1	93.3	9	0	100
D-N-1	のらぼう菜	15	0	100	9	0	100
D-N-2	のらぼう菜	15	0	100	9	0	100
D-N-3	のらぼう菜	15	0	100	9	0	100
D-N-4	のらぼう菜	14	1	93.3	9	0	100
	のらぼう菜の平均	14.8	0.2	98.9	9.0	0	100
	全体の平均	14.8	0.2	98.8	8.7	0.3	96.1



第 2-5 図 「のらぼう菜」および「かき菜」22 サンプルの SSR 解析による Nei の遺伝的距離に基づいて作成した NJ (近隣結合) 系統樹 (クラスター解析) 外群として、コマツナ (*B. rapa*) もサンプルに含めた 系統樹の節における数値は 1,000 反復によるブートストラップ値を示す

1045

第2-7表 「のらぼう菜」および「かき菜」21サンプリの異なる遺伝子型のグループにおける表現型の計11項目の平均値^z

グループ	単位花茎重 (g・cm ⁻¹)	葉重率 (%)	葉先から花蕾 の距離 (cm)	単位葉数 (枚/cm)	葉幅 (cm)	茎径 (mm)	SPAD値	Brix (%) ^(c)	アスコルビン酸 (mg・100g ⁻¹ FW)	カルシウム (mg・100g ⁻¹ FW)	硝酸(NO ₃) (mg・100g ⁻¹ FW)
1	0.51 ± 0.16 ^y a ^x	37.6 ± 10.7 a	3.4 ± 2.7 a	0.18 ± 0.04 a	6.7 ± 1.8 a	7.2 ± 1.3 a	43.8 ± 5.6 a	5.7 ± 0.8 a	133 ± 34 b	60 ± 19 a	88 ± 45 a
2	0.39 ± 0.26 b	31.9 ± 10.9 b	1.1 ± 1.8 b	0.15 ± 0.02 b	5.4 ± 2.9 b	5.9 ± 1.8 b	44.1 ± 4.1 a	5.5 ± 0.7 a	172 ± 39 a	85 ± 37 a	60 ± 46 a
3	0.44 ± 0.18 b	35.0 ± 10.5 ab	3.4 ± 2.7 a	0.17 ± 0.05 a	5.7 ± 2.0 b	7.3 ± 1.6 a	40.4 ± 5.2 b	4.8 ± 0.2 b	140 ± 21 ab	30 ± 8 b	25 ± 9 a
分散分析 ^w	12.6**	8.3**	21.5**	7.2**	12.6**	23.2**	3.9*	7.7**	7.3**	8.5**	4.0*

^z A-N-3は調査せず

^y 平均値 ± 標準偏差

^x Tukey-Kramerの多重比較検定により、同じ符号を持たない水準間に5%水準で有意差あり

^w 一元配置分散分析をグループ間で行い、数値はF値を示し、*は5%、**は1%水準で有意であることを示す

考 察

「のらぼう菜」および「かき菜」20 サンプルにおける表現型の計 11 項目に基づいた主成分分析を行ったところ、主成分得点において、主成分 1 は形態形質の項目が、主成分 2 は含有成分の項目が高い傾向であった（第 2-4 表）。主成分得点による散布図は、20 サンプルが 3 つのクラスターに分類されたことを示し（第 2-4 図）、「のらぼう菜」の集団全体は、表現型のレベルで多様であるものと考えられた。さらに、表現型のレベルでクラスターが 3 つ形成されたものの、「のらぼう菜」サンプルは、各サンプリング地域と関連して別れなかった。また、「かき菜」は、今回計測した形態形質(外観)では「のらぼう菜」との顕著な違いが見られないものと考えられた。Soengasら（2008）は、類似した結果として、2 種類の異なる葉茎菜用セイヨウアブラナの在来種が、表現型のレベルで同じグループに分類されたことを報告している。

本研究では、異なる連鎖群（A および C ゲノム）で増幅する 24 個の SSR マーカー（Chen ら，2017）を用いて、「のらぼう菜」と、同じ関東地方で栽培されているアブラナ属の在来種を解析した。その結果、「のらぼう菜」および「かき菜」は、いずれも A および C ゲノム由来の遺伝子座で対立遺伝子がほとんど発現した（第 2-6 表）。外群として用いたコマツナも、別種の *B. rapa* であり、A ゲノム種とされるため（U，1935），A ゲノム由来の遺伝子座で対立遺伝子がほとんど発現したものの、C ゲノム由来の 1 つの遺伝子座でも対立遺伝子が発現した。その要因としては、A ゲノムと C ゲノムの相同性の高さが考えられる（Chalhoub ら，2014）。ところで、C ゲノム由来の遺伝子座で C ゲノムの BoGMS2016 は、異なる対立遺伝子を最も多く増幅した（ $N_a = 9$ ）（第 2-5 表）。BoGMS2016 は、Chen ら（2017）のセイヨウアブラナ 582 系統を解析した研究にも用いられているものの、その研究では、5 番目に多くの N_a を増幅した。また、 H_o は、実際に観測されるヘテロ接合の遺伝子型の割合を示した指数である。

本研究の *Ho* の平均値は、比較的到低い値 (0.15) を示し、本研究で収集したサンプルは、遺伝的に固定している傾向にあるものと考えられた。さらに、本研究の PIC の平均値は、0.36 と中程度の値を示したことから、「のらぼう菜」サンプル間の遺伝的な差異も中程度であるものと思われる。

- 1075 遺伝子解析におけるクラスター解析の結果、「のらぼう菜」は、遺伝子型の異なる集団から構成されるものと考えられた (第 2-5 図)。本研究の「のらぼう菜」の遺伝子解析の結果に類似して、Soengas ら (2006) の報告では、葉茎菜用セイヨウアブラナの在来種で、「couve-naviça」と呼ばれるポルトガル共和国北部の集団は、SSR 解析により、異なるクラスターに分割されたことを報告している。さらに、本研究における
- 1080 表現型のデータは、同一環境栽培で評価しておらず、SSR マーカーもまた、形質に関与している遺伝子の変異を反映していない中立的なマーカーであることから、表現型 (第 2-4 図) および遺伝子型 (SSR ; 第 2-5 図) に基づくグルーピングは一致しないものとする。 *B. rapa* に分類されるコマツナは、種が異なり、外群として別れた。また、「かき菜」も、セイヨウアブラナとして明確に分類されたものの (第 2-6 表)、2 つの
- 1085 サンプル (D-K-1 および D-K-2) が、「のらぼう菜」集団 (グループ 1 および 2 から構成) と別れ、グループ 3 に分類された。グループ 3 における含有成分の平均値は、SPAD 値、Brix およびカルシウム含量の値が低く (第 2-7 表)、「かき菜」と「のらぼう菜」の違いは、葉色や含有成分などに現れる可能性がある。しかし、第 2-7 表の結果から、グループ 3 に分類された「かき菜」サンプルは、グループ 1 または 2 の「の
- 1090 らぼう菜」サンプルと形態形質が類似した。さらに、埼玉県から収集した「かき菜」サンプル (A-K) は、4 つの「のらぼう菜」サンプルと同じグループ 1a に分類されたことから、「かき菜」の一部は、「のらぼう菜」と遺伝的に類似するものと考えられる。また、「のらぼう菜」と「かき菜」のように、品目名が異なる葉茎菜用セイヨウ

1095 アブラナの在来種における混在は、葉茎菜用セイヨウアブラナが伝統的に栽培されて
いる地域において生じるものと考えられる。

グループ 2 で構成された「のらぼう菜」集団は、地域 C (第 2-1 図) から集めたサ
ンプルのみを含み、グループ 1 で構成された「のらぼう菜」集団から別れた (第 2-5
図)。グループ 2 の地域 C (川崎市) から集めた「のらぼう菜」サンプルは、大多数
の「のらぼう菜」サンプルに比べて、遺伝子型とともに、表現型にも特徴が見られた
1100 (第 2-7 表)。グループ 2 の形態形質の項目において、葉先から花蕾の距離は、ほか
の遺伝子型のグループに比べて小さく (第 2-7 表)、花蕾が葉先から明瞭に目視でき
る形質を示した (第 2-2 図)。生産現場において、「のらぼう菜」は、早生とされる
系統がおもに地域 C で栽培されている (柘植ら, 2017)。そのため、地域 C から集め
たサンプルは、早生の系統であったとともに、花蕾の形成が比較的早い形質を示した
1105 可能性がある。一方、グループ 2 のアスコルビン酸含量は、遺伝子型のグループのな
かでも多い傾向であり (第 2-7 表)、地域 C (第 2-1 図) から集めた C-N-2 は、アス
コルビン酸およびカルシウム含量の最大値を示した (第 2-2 表)。そのため、地域 C
で生産される「のらぼう菜」の遺伝資源は、葉茎菜用セイヨウアブラナの集団におけ
るさらなる育成を目的とした育種計画に有用であると考えられる。

1110 グループ 1 に分類された大多数の「のらぼう菜」サンプル (第 2-5 図) については、
グループ 1a と 1b が低めのブートストラップ値 (35) で別れており、それらはグルー
プ 1 と 2 の分類に比べて信頼性が低いものと考えられた。一方、グループ 1 に含まれ
る大多数の「のらぼう菜」サンプルは、表現型の形態形質として重い花茎重と大きな
葉部を示し、アスコルビン酸含量は少ない傾向であった (第 2-7 表)。グループ 1 の
1115 なかでも、グループ 1a に分類された「のらぼう菜」集団は、いずれも地域 B (第 2-1
図) から集めたサンプルから構成され、地理的な特徴を示した。しかし、グループ 1a
は、「かき菜」サンプル (A-K) を含むとともに、グループ 1b との信頼性の低い分類

も示した。次に、グループ 1b は、「のらぼう菜」サンプルのみを含み、それらは 3 つの地域 (A, B および C) を含む広域から集めたサンプルである。そのうち、B-N-2 や
1120 B-N-3 などのグループ内のサンプルは、同じ地域 B から集めたものであり、地理的に近く、遺伝的にも関係が近かった。しかし、A-N-2 と D-N-3 および A-N-3 と D-N-4 の組合せ(いずれも地域 A と D の組合せ)は、地理的に最も遠かったものの(第 2-1 図)、
1125 遺伝的には関係が近かった。例えば、グループ 1a とグループ 2 のサンプル間の関係は、遺伝的な違いが見られたものの、サンプリング地域 (B および C) の直線的な距離は、23 km 程度であった。しかし、グループ 1b の A-N-3 と D-N-4 の関係は、遺伝的に関係が近接していたものの、サンプリング地域 (A および D) の直線的な距離は、85 km 程度であった。そのため、グループ 1b における A-N-2, A-N-3, D-N-3 および D-N-4 の種子は、地域間で共有されていた可能性があり、それらの種子は、種苗会社や行政などの管理を通じて共有されたものと推察される。また、「のらぼう菜」サン
1130 プルのみにおいて、サンプルをサンプリング地域ごとに分類し、各サンプリング地域の遺伝的分化係数 (F_{st}) (値は 0~1 の範囲で、大きければ遺伝的に分化していることを示す) を分析したところ、全体の平均で 0.039 ($P=0.144$) を示した。そのため、グループ 1 の遺伝子解析の結果から、グループ 1 が 84% の「のらぼう菜」サンプルの数を占めるとともにそれらは多くの地域が由来しており、「のらぼう菜」の集団全体の
1135 地理的分化は見られないものと考えられた。

以上から、関東地方の「のらぼう菜」の集団は、表現型が多様であり、地理的分化が見られない遺伝子型の異なる亜集団から構成されるものと考えられた。また、「かき菜」は、1 つのサンプルが「のらぼう菜」と同じグループに分類されたものの、それらは生産および流通現場における混合によるものと考えられ、第 1 章の結果も含めると、「のらぼう菜」は、「かき菜」とは異なる葉茎菜用セイヨウアブラナであると考えられる。
1140

第3章 「のらぼう菜」の生産および流通現場における品質調査

緒言

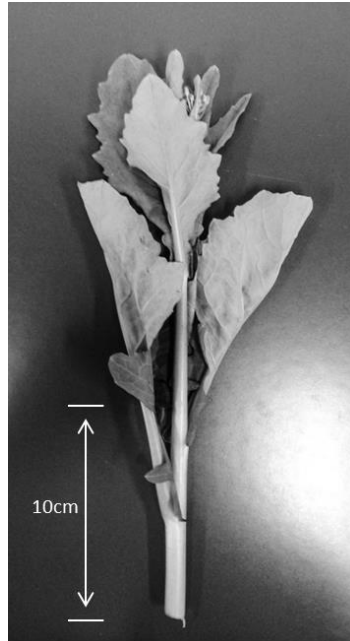
1145 アブラナ科の植物はヨーロッパの地中海沿岸部を起源とし（山川，2003），葉菜類の野菜として数多くの品目が生産されている．狭義の意味で，アブラナ科アブラナ属の葉菜を「菜っ葉」と呼ぶが，奈良時代以前に中国から渡来した「菜っ葉」は食用だけでなく，油の搾取などの工芸作物として栽培されるなど，さまざまな用途に利用された（野呂，2010）．江戸時代に入ると，京都ではすでに「ミズナ」が名産品として挙げられ，明治時代には「ハクサイ」や「タアサイ」などが中国から導入された（野呂，2010）．そうして日本全国に多種多様な「菜っ葉」が広がり，現在では「野沢菜」や「大阪白菜」，「広島菜」など，各地域における食文化の一つとして各地に「菜っ葉」が存在する（野呂，2010）．そのなかで，「のらぼう菜」は，埼玉県比企郡から東京都あきる野市，神奈川県川崎市にかけての山間地帯を中心に栽培されている地域伝統野菜であり，抽苔した花茎を可食部とするタイプの「菜っ葉」である（第3-1図）．近年になって，川崎市において早生系統とされる「のらぼう菜」はアブラナ科アブラナ属セイヨウアブラナ（*Brassica napus* L.）の一種であることが報告された（北浦ら，2006）．セイヨウアブラナに属する種は，北関東から東北南部で「トウナ」（苔菜）として栽培されており，「カブレナ」，「シンツミナ」および「宮内ナ」がおもな品種として挙げられる（青葉，2001）．また，「のらぼう菜」に関して，埼玉県比企郡では，栽培を奨励する古文書が見つかり（東京都あきる野市，2014），東京都あきる野市五日市地区の子安神社には，天明および天保の飢饉の際，救荒作物として人命を救ったことを伝える碑が存在するなど（椿，2009；山本，2009），多くの歴史的背景をもち，古くから関東地方で広く栽培されていたことが伺える．

- 1165 「のらぼう菜」は、一般的な和種ナバナのような苦味やくせなどがなく、ほのかに甘味があることが特徴であり（椿，2009），食味が優れている．そのため近年では，古くから「のらぼう菜」を栽培してきた生産者や JA などの団体を中心に，「のらぼう菜」を特産野菜として推奨し，生産規模を拡大する取り組みがなされている．「のらぼう菜」の収穫は，2 月下旬から開始され，4 月に最盛期を迎え，5 月に終了する（椿，2009）．
- 1170 埼玉県比企郡における「のらぼう菜」の生産量は年間に 36 t 程度であり，現在も増加し続けている（農林水産省，2015）．しかし，「のらぼう菜」は未だ小規模生産のため，栽培地域の多くは自家採種により系統が維持されている．地域および生産者により，使用する品種・系統や栽培方法などが異なることから，地域によっては販売物の形態や品質にばらつきなどが見られる．そのうち，埼玉県比企郡では，JA および行政機関
- 1175 を中心に「比企のらぼう菜」の産地化が進められ，2009 年には「JA 埼玉中央のらぼう菜部会」が発足した．川越比企地域における出荷物の品質安定のため，優良系統の選抜・維持の重要性から，採種担当農家を選定するとともに，地域内の自家採種を禁止した．さらに，栽培技術の統一を図るため栽培暦を作成し，栽培技術指導を徹底している（農林水産省，2015）．また，神奈川県川崎市では，JA の直売所は市内 1 か所の
- 1180 みであり（2015 年現在），直売所が位置する麻生区黒川（市街化調整区域および農業振興地域に指定）は，黒川地域で採種された系統が栽培され，JA および川崎市による栽培技術指導が行われている．そのため，埼玉県比企郡および神奈川県川崎市の黒川地区は，生産者間における品質はある程度揃っているものと考えられる．一方，「のらぼう菜」の発祥地の一つとされる東京都あきる野市（山本，2009）では，地域独自の
- 1185 品種・系統や栽培指導要領などが存在するものの，自家採種を長年続けてきた生産者が多く，直売所も数か所あるため，出荷される品種・系統が揃っていない可能性がある．また，「のらぼう菜」は，茎が硬くなり筋っぽくなることがあるため，食味が優れ

ていても、食感の悪化から品質の低下へと影響し、出荷を停止するうえでの判断基準になると言われている。

- 1190 そこで本研究では、「のらぼう菜」を特産野菜として扱う地域（埼玉県比企郡，東京都あきる野市および神奈川県川崎市）の直売所を中心に，出荷された「のらぼう菜」における販売物の形態，花茎の形態および成分分析を，出荷時期である 3～5 月において毎月調査することにより，「のらぼう菜」の販売物の形態や茎の硬さなどを含めた品質を時期別，地域別および生産者別に比較し，「のらぼう菜」の地域間差（均一性）
- 1195 を調べた。

1200



第 3-1 図 「のらぼう菜」の花茎

材料および方法

1205 1. 試験材料

埼玉県比企郡，東京都あきる野市および神奈川県川崎市の各地域における直売所から，2014年3月（生産現場における「のらぼう菜」の一般的な収穫始期），4月（収穫最盛期）および5月（収穫終期）の計3回，晴天日が数日続いた際に試験材料を購入（収集）した（第3-2図）．そのうち，東京都あきる野市では，時期別の比較を行う際に，複数の生産者の出荷物を購入した．

各地域の直売所を巡回し，当日の早朝に収穫された出荷物を，生産者ごとに5～8袋分購入した．購入したものをクーラーボックス（保冷剤により10℃前後に保持）に入れて研究室に運搬し，冷蔵庫内（5℃）で貯蔵し，翌日の午前中に分析した．分析調査は各地域とも2014年3月9日，4月13日および5月2～6日の計3回行った．ただし，葉色の調査は4～5月に行った．

1215 2. 形態の測定

花茎を購入した袋から取り出し，すべての個体のなかから上下値の個体を同様な数だけ抜きとり，調査数を20個体に揃え，それらを調査対象とした．葉数は，花蕾部から数えた1節目より下の葉を葉数とした．茎径は，切断面から数えた最初の節の部位を茎径とした．SPAD値は，葉緑色素計SPAD-502（コニカミノルタ（株））を用い，各花茎における最大葉のうちの4か所を測定し，その平均値とした．

1220 3. 内容成分の測定

花茎を購入した袋から取り出し，すべての個体のなかから花茎重の上下値の個体を同様な数だけ抜きとり，調査数を10個体に揃え，それらを分析対象とした．糖度は，花茎において茎部の糖含量が高いことから（池田，2010），茎部から搾汁液を採取し，デジタル糖度計（PR-201α，（株）アタゴ）によって時期別に測定した．アスコルビン酸は，山田ら（1994）の方法に従って，葉部および茎部に分けて分析をした．手順は，

最初に葉および茎部の各部位から 5 g を測りとった後、10%に希釈したメタリン酸を 25 mL 加え、ミキサー (BM-HS08 型, (株) 象印マホービン) にて 40 秒間破碎し、ろ過したものを経験とした。最後に、RQ フレックス (Merck Ltd.) を使用して、新鮮重 100 g 当たりのアスコルビン酸含量 ($\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$) を測定した。硝酸イオン濃度 (NO_3^-) (以下、硝酸濃度) は、菊池ら (2003) の方法に従って花茎全体を分析した。最初に花茎 50 g を測りとった後、350 mL の蒸留水を加えて、ミキサーで 1 分間破碎し、ろ過したものを経験とした。最後に、RQ フレックスを使用して、新鮮重 100 g 当たりの硝酸濃度 ($\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}\text{FW}$) を測定した。

4. 破断応力の測定

花茎を購入した袋から取り出し、すべての個体のなかから花茎重の上下値の個体を同様な数だけ抜きとり、調査数を 6 個体に揃えて測定した。花茎の破断応力 (N) は、元木ら (2012) の方法に従って、花蕾部から数えて 1 節目を 0 cm とし、2 cm ごとに基部 (切断面) まで測定した。カッターナイフ替刃 (小型刃, オルファ (株)。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。破断応力の測定には、小型卓上試験機 (EZ-SX 型, (株) 島津製作所) を用いた。プランジャーの送り速度は $40\text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$ とした。



第 3-2 図 「のらぼう菜」の販売物（埼玉県比企郡）

1. 時期別の販売物の形態調査

出荷物における重量および販売価格の地域、生産者および時期別比較を第 3-1 表に示した。販売物の形態において、1 袋当たりの重さの範囲は 264～449g 程度であり、購入する時期、地域および生産者によって異なった。1 袋当たりに含まれる花茎の本数は、5 月に移行するに従って増加する傾向にあり、地域間差異が確認された。しかし、東京都あきる野市の直売所では、生産者 No.9 および 10 などのように、同じ時期においても、生産者によって本数が大きく異なった。販売価格は 100～200 円程度の範囲にあり、3 月が高値で、4～5 月に値段が下がる傾向にあった。

2. 時期別および地域別の花茎の形態の変化

花茎の形態における地域、生産者および時期別比較を第 3-2 表に示した。花茎重は、いずれの地域も収穫時期が遅くなるに従って減少する傾向にあり、地域間差異が確認された。

花茎長は、神奈川県川崎市の 3 回の調査を通じて 20 cm 以上であったが、埼玉県比企郡および東京都あきる野市の 3 月はいずれも 15 cm 未満であり、花茎が短い傾向であった。4 月以降の販売物について、ほとんどの生産者の花茎長は 20 cm 以上であったが、東京都あきる野市の生産者 No.10 における 5 月の花茎は 17.4 cm であった。

花茎の葉数は、生産地ごとに比較すれば、収穫時期が遅くなるに従って減少する傾向にあった。

花茎径は、収穫時期が遅くなるに従って減少し、3～4 月は地域間差異が確認された。特に、埼玉県比企郡および東京都あきる野市において、3 月の花茎径は 11 mm 以上であるのに対して、5 月は 5～6 mm 程度であり、半分程度に減少した。東京都あきる野市の 3 月調査（生産者 No.4～6）では、生産者によって大きく異なり、No.6 の生産者は 17.5 mm で、すべての生産者のなかで最も太かった。

SPAD 値は、収穫時期に関わらず、いずれの地域においても差が見られなかった。

1275 3. 花茎の成分分析

花茎における Brix、アスコルビン酸および硝酸濃度の地域別比較を第 3-3 表に示した。Brix は、いずれの地域も、3 月において 9.0°以上であり、収穫時期が遅くなるに従って減少する傾向であり、3 月および 5 月は地域間差異が確認された。

1280 葉および茎のアスコルビン酸は、いずれの地域も、3 月が最も低く、4~5 月が高かった。特に、東京都あきる野市の生産者 No.8 の 4 月および生産者 No.9 の 5 月における葉中には 200 mg・100g⁻¹FW 以上が含まれていた。また、アスコルビン酸は茎よりも葉に多く含まれる傾向であった ($P<0.01$)。

1285 硝酸濃度は、ばらつきが大きく、特に東京都あきる野市の 5 月では、生産者 No.9 の 26 mg・100g⁻¹FW に対して、生産者 No.10 では 122 mg・100g⁻¹FW と、生産者の間に大きな差が認められた。

4. 花茎の部位別における破断応力の測定

花茎の部位別における破断応力とその最大値および水分率の地域、生産者および時期別比較を第 3-4 表に示した。部位別の破断応力では、全体的に基部に近づくほど硬くなる傾向であった。また、生産者ごとの花茎の部位別における破断応力の最小値と
1290 最大値の差が 3 月は 1.7~3.9 N と大きかったが、4 月は 0.7~1.6 N、5 月は 0.4~1.3 N と、差が小さくなった。

本試験では、部位別の測定により示された破断応力の最大値を、地域、生産者および時期別に、花茎の硬さを比較するうえでの破断応力とした。最大値は全体的に、収穫時期が遅くなるに従って減少する傾向にあり、3 月および 5 月は地域間差異が確認
1295 された。特に、埼玉県比企郡および東京都あきる野市の 3 月においては、生産者 No.5 を除いて、最大値が 6 N 前後の値を示し、4 月との間には 2~5 N 程度の差が見られた。

水分率は、87.7～90.5%の範囲であり、東京都あきる野市においては収穫時期による差が確認されたが、ほかの地域ではその差が確認されなかった。

1300

第3-1表 出荷物における重量および販売価格の地域、生産者および時期別比較

生産地	生産者 ^z No.	調査日	重さ／袋 (g)	花茎本数／袋 (本)	値段／袋 (円)
埼玉県比企郡	1	3月 9日	314±10 y b ^x	5.0±0.3 c	170
	2	4月 13日	366± 2 a	21.4±0.5 b	130
	3	5月 2日	317± 2 b	54.2±2.7 a	100
東京都あきる野市	5	3月 9日	264± 5 d	10.0±0.6 de	200
	6	3月 9日	317± 3 cd	5.5±0.3 e	200
	7	4月 13日	343±14 bc	13.4±1.3 cd	120
	8	4月 13日	414± 4 a	16.8±1.1 c	120
	9	5月 6日	330± 8 c	55.8±3.0 a	130
	10	5月 6日	399±30 ab	28.2±1.2 b	130
神奈川県川崎市	12	4月 13日	449± 6	32.8±0.4	130
	13	5月 4日	398± 9 ^{** w}	77.0±2.5 ^{**}	140
分散分析 ^v (地域間差異)		3月 9日	NS	**	
		4月 13日	**	**	
		5月 2～6日	*	**	

^z生産者No.4および11は、直売所出荷前の収穫物を生産者から直接いただいたため、データなし

^y平均値±標準誤差 (n=5～8)

^x生産地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

^wt検定により1%水準で有意差あり (**) (n=5)

^v時期別に統計処理を行った。一元配置分散分析により、1% (**) または5% (*) 水準で有意差あり、またはなし (NS)

第3-2表 花茎の形態における地域、生産者および時期別比較

生産地	生産者 No.	調査日	花茎重 (g)	花茎長 (cm)	葉数 (枚)	花茎径 (mm)	SPAD値	
埼玉県比企郡	1	3月9日	57.0±1.4 ^z a ^y	12.2±0.3 b	5.9±0.2 a	12.8±0.3 a	-	NS ^x
	2	4月13日	17.0±0.4 b	26.1±0.5 a	3.9±0.1 b	8.2±0.1 b	49.8±1.7	
	3	5月2日	6.7±0.3 c	25.7±0.2 a	2.1±0.1 c	5.4±0.1 c	46.2±1.2	
東京都あきる野市	4	3月9日	46.1±4.2 b	10.1±0.3 de	6.3±0.4 a	12.6±0.4 b	-	
	5	3月9日	27.4±1.3 c	8.7±0.3 e	4.8±0.1 b	11.0±0.3 c	-	
	6	3月9日	57.4±3.9 a	12.0±0.6 de	5.5±0.1 b	17.5±0.6 a	-	
	7	4月13日	21.8±1.1 cd	23.0±0.7 b	3.7±0.2 c	8.8±0.2 d	48.6±0.9 a	
	8	4月13日	24.4±1.0 cd	26.0±0.9 a	5.3±0.2 b	8.1±0.2 d	45.8±1.4 a	
	9	5月6日	6.5±0.4 e	22.8±0.2 b	3.4±0.2 c	5.5±0.1 e	48.4±0.9 a	
	10	5月6日	14.7±0.7 d	17.4±0.4 c	4.0±0.1 c	5.7±0.1 e	44.5±1.2 a	
神奈川県川崎市	11	3月9日	14.8±0.5 a	20.0±0.1 c	4.4±0.2 a	8.6±0.1 a	-	NS
	12	4月13日	13.7±0.1 a	26.9±0.2 a	4.2±0.1 a	7.8±0.2 b	47.9±1.4	
	13	5月4日	5.9±0.2 b	24.3±0.1 b	3.3±0.2 b	5.5±0.1 c	45.9±1.2	
分散分析 ^w (地域間差異)		3月9日	**	**	**	**	-	
		4月13日	**	*	NS	*	NS	
		5月2~6日	**	**	**	NS	NS	

^z 平均値±標準誤差 (n=10~20)

^y 生産地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

^x t検定により有意差なし (NS) (n=10)

^w 時期別に統計処理を行った。一元配置分散分析により、1% (**) または5% (*) 水準で有意差あり、またはなし (NS)

第3-3表 花茎におけるBrix, アスコルビン酸および硝酸濃度の地域, 生産者および時期別比較

生産地	生産者 No.	調査日	Brix ^z (°)	アスコルビン酸 (mg・100g ⁻¹ FW)		硝酸 (NO ₃ ⁻) (mg・100g ⁻¹ FW)
				葉	茎	
埼玉県比企郡	1	3月9日	9.7±0.0 _{y a} ^x	104± 3 b	66± 2 b	8± 0 c
	2	4月13日	7.1±0.1 b	173±15 a	99± 5 a	86±11 a
	3	5月2日	5.7±0.1 c	143± 6 a	100± 1 a	36± 2 b
東京都あきる野市	4	3月9日	9.1±0.1 b	127± 2 bc	71± 1 c	36± 1 c
	5	3月9日	9.6±0.1 a	122± 2 c	74± 0 c	72± 2 b
	6	3月9日	9.0±0.1 a	130± 1 bc	64± 1 c	52± 1 bc
	7	4月13日	7.1±0.2 d	156± 9 bc	103±13 b	-
	8	4月13日	7.7±0.1 c	209± 2 a	110± 3 ab	27±10 c
	9	5月6日	5.8±0.1 e	203±14 a	120± 5 ab	26± 4 c
	10	5月6日	5.2±0.1 f	199± 8 a	126± 4 a	122± 6 a
神奈川県川崎市	11	3月9日	9.2±0.2 a	127± 1 b	96± 1 b	-
	12	4月13日	7.4±0.1 b	162± 4 a	99± 3 b	34± 3
	13	5月4日	7.1±0.2 b	182±10 a	131± 2 a	23± 2 ^{*w}
分散分析 ^y (地域間差異)		3月9日	*	**	**	**
		4月13日	NS	NS	NS	**
		5月2~6日	**	**	**	**

^z茎部を測定^y平均値±標準誤差 (n=5)^x生産地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^wt検定により5%水準で有意差あり (*)^y時期別に統計処理を行った。一元配置分散分析により, 1% (**) または5% (*) 水準で有意差あり, またはなし (NS)

第3-4表 花茎の部位別における破断応力とその最大値および水分率の地域、生産者および時期別比較

生産地	生産者 No.	調査日	花蕾部の1節目(0cm)から基部までの破断応力(N) ^z											水分率 ^x (%)
			0cm	2cm	4cm	6cm	8cm	10cm	12cm	14cm	16cm	18cm	最大値 ^y	
埼玉県比企郡	1	3月9日	2.5	3.5	4.5	5.7	5.8	5.9	-	-	-	-	5.9±0.4 ^w a ^v	87.7 a
	2	4月13日	1.6	1.6	1.8	1.8	2.1	2.1	2.4	2.4	2.5	2.3	2.5±0.2 b	87.7 a
	3	5月2日	0.7	0.7	0.7	0.8	0.7	0.8	0.8	0.9	0.9	1.1	1.1±0.1 c	89.9 a
東京都あきる野市	4	3月9日	1.9	2.9	4.0	5.2	5.8	-	-	-	-	-	5.8±0.7 a	88.2 b
	5	3月9日	1.5	2.2	3.5	3.2	-	-	-	-	-	-	3.8±0.2 b	88.8 b
	6	3月9日	2.6	3.5	5.1	6.0	5.8	-	-	-	-	-	6.0±0.3 a	88.0 b
	7	4月13日	1.4	1.6	1.9	2.0	2.5	2.2	2.3	2.6	2.8	-	2.8±0.2 b	90.5 a
	8	4月13日	1.6	1.6	2.0	2.1	2.4	2.5	3.0	3.2	3.2	-	3.2±0.4 b	87.8 b
	9	5月6日	0.9	1.1	1.0	1.3	1.4	1.5	1.7	1.7	1.9	-	1.9±0.2 b	89.5 a
神奈川県川崎市	10	5月6日	0.7	1.1	1.3	1.6	1.7	1.9	1.9	-	-	-	1.9±0.1 b	89.8 a
	11	3月11日	1.5	1.7	1.7	1.9	2.5	2.6	3.0	3.3	-	-	3.3±0.2 a	89.6 a
	12	4月13日	1.7	1.6	1.6	2.0	2.0	2.4	2.4	2.5	2.5	2.7	2.7±0.1 ab	87.8 a
	13	5月4日	0.9	1.1	1.1	1.2	1.2	1.3	1.4	1.6	2.0	2.2	2.2±0.4 b	88.9 a
分散分析 ^u (地域間差異)		3月9,11日											**	NS
		4月13日											NS	NS
		5月2~6日											**	**

^z販売物の形態に合わせて基部(切断面)まで測定した。-は花茎が短く、測定できなかったことを示す

^y0~18cmにおける最大値。花蕾部から数えて1節目を0cmとした(n=6)

^x100 - (乾物重/新鮮重×100)で算出(n=3)

^w平均値±標準誤差

^v生産地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

^u時期別に統計処理を行った。一元配置分散分析により、1%(**)水準で有意差あり、またはなし(NS)

考 察

- 1320 販売物の形態は、地域、生産者および時期別によって違いが見られた。同時期に複数の生産者から購入をした東京都あきる野市において、生産者ごとに比較をしたところ、同じ値段の出荷物にも関わらず、3月出荷の生産者 No.5 および 6 では 53 g（花茎本数で 4～5 本）差、4月の出荷の生産者 No.7 および 8 では 71 g（花茎本数で 3～4 本）差、5月出荷の生産者 No.9 および 10 では 69 g（花茎本数で 27.6 本）差と大きな差があった。また、いずれの地域においても、収穫時期が遅くなるに従って1袋当たりの花茎本数が著しく増加した。これは、花茎の重さが減少したことが要因であり、花茎本数と花茎重の間には負の相関関係（ $r = -0.772^{**}$ ）が認められた。埼玉県比企郡では、3月の1袋当たりの花茎本数が 5.0 本であり、5月は 54.2 本と 10 倍以上に増加した。これに対し、形態調査における花茎重は、3月は 57.0 g、5月は 6.7 g と著しく減少した。

花茎の形態調査において、花茎重は全地域において、収穫時期が遅くなるに従って減少したが、それに伴い花茎径も減少した。花茎重と花茎径の間には高い正の相関関係（ $r = 0.937^{**}$ ）が認められ、太い花茎の生産が重量の高い花茎の生産につながる可能性が示唆された。

- 1335 また、葉数も、収穫時期が遅くなるに従って減少した。達観調査では、ほかのアブラナ科野菜の事例（山川，2003）と同様、「のらぼう菜」においても、収穫時期が遅くなるに従って開花のための生殖成長が進み、花茎の節間の伸長が促進され、葉が形成されなくなるため、調製した際の花茎における葉数が減少したものと考えられる。そのため、今後は葉数の減少を株の生育段階の指標として捉えることができる可能性がある。
- 1340 ある。

花茎長について、埼玉県比企郡の生産者 No.1（3月収穫）と東京都あきる野市の生産者 No.4～6（3月収穫）および 10（5月収穫）では、いずれも 20 cm 以下であった

が、その他の生産者では、平均 25 cm 前後で調製されていた。十分に伸長していない花茎の形態は、葉柄が長く、葉柄の長い葉が茎頂部を覆う状態であったが、商品自体の大きさは十分に伸長した花茎と変わらなかった。また、収穫時期が遅くなるに従って花茎長は長くなる傾向が見られたが、そのなかで東京都あきる野市の生産者 No.10 は、5 月の収穫にも関わらず、葉柄の長い葉が茎頂部を覆い、花茎が十分に伸長していなかったため、生育の遅れた状態（花茎長：17.4 cm）であった。さらに、生産者 No.10 の硝酸濃度は同時期かつ同地域で栽培されたものに比べて顕著に高かった。既報（北浦ら、2004）でも品種や系統などによって早晚性に差が認められていることから、収穫終期の収穫物における花茎の形態と内容成分については、さらなる調査が必要である。

成分分析について、Brix は、いずれの地域においても、収穫時期が遅くなるに従って減少する傾向にあり、3 月は 9.1～9.9°と高い数値を示した。春の時期のキャベツが 6.7～7.1°程度（永田、2012）、アスパラガスが 7.5～9.5°程度（元木ら、2011）という報告があることから、この時期の葉茎菜類としては、高糖度の品目と考えられる。また、Brix は収穫期間中に有意に減少したことから、温度による花茎の生育への影響が考えられる。浅尾ら（2013）は、奈良県の地域伝統野菜で、アブラナ科に属する F₁ 品種の「大和マナ」において、12 月および 2 月の収穫物が、6 月および 8 月の収穫物よりも糖含量が高く、生育中の平均気温を 10℃以下にすることが、「大和マナ」の Brix を高めるのに効果的であったと報告している。いずれの地域においても、収穫時期が遅くなるに従って Brix は減少したものの、神奈川県川崎市では、5 月の減少がほかの地域に比べて少なかったことから、高糖度を維持できる可能性がある。そのため、「のらぼう菜」を高糖度の葉茎菜類としてマーケティングを行うためには、高糖度系統の選抜や、その栽培技術の確立などが今後望まれる。一方、アスコルビン酸は、いずれの地域においても、葉では、3 月が最も低く、4 月および 5 月に高くなる傾向を示した。特

に、東京都あきる野市の生産者 No.8 および 9 の葉中において、 $200 \text{ mg} \cdot 100\text{g}^{-1}\text{FW}$ を超える値を示した。埼玉県農林総合研究所でも、 $200 \text{ mg} \cdot 100\text{g}^{-1}\text{FW}$ 以上の報告があり（池田，2010），食品成分表（香川，2005）では、一般的な「洋種ナバナ」が $130 \text{ mg} \cdot 100\text{g}^{-1}\text{FW}$ ，同じアブラナ科で、比較的多くのアスコルビン酸を含む「ブロッコリー」が $120 \text{ mg} \cdot 100\text{g}^{-1}\text{FW}$ と記載されていることから、「のらぼう菜」はアスコルビン酸含量の多いアブラナ科野菜と考えられる。茎中のアスコルビン酸含量は、葉中より低かったものの、5 月にはいずれの地域においても、 $100 \text{ mg} \cdot 100\text{g}^{-1}\text{FW}$ を超えるなど、収穫時期が遅くなるに従って高い値を示し、葉中のアスコルビン酸の増加とともに、茎中のアスコルビン酸も同様の増加傾向を示した ($r=0.859^{**}$)。特に 4 月および 5 月は、花茎の抽苔により、可食部のほとんどが茎部であることから、茎中のアスコルビン酸の値は、花茎全体のアスコルビン酸の値に近かったと考えられる。また、収穫時期が遅くなるに従って茎中のアスコルビン酸が増加したことに関して、アスパラガス（元木ら，2011）でも、春どり収穫において、収穫始期の 4 月下旬よりも、収穫終期の 6 月中旬におけるアスコルビン酸含量が高く、収穫時期が遅くなるに従ってアスコルビン酸が増加し、本試験と同様の傾向を示した。硝酸濃度において、既報（池田，2010）では、 $8 \sim 18 \text{ mg} \cdot 100\text{g}^{-1}\text{FW}$ の範囲であったが、本試験では、 $8 \sim 122 \text{ mg} \cdot 100\text{g}^{-1}\text{FW}$ とばらつきが大きく、時期別および生産者ごとに異なった。硝酸濃度の違いは、品種・系統、もしくは施肥量や土壌などの栽培環境が影響するとされ（吉田ら，2005），既報（池田，2010）と本試験では分析試料の収集地が異なることから、生産者ごとに差があったものと考えられる。

「のらぼう菜」のような茎を可食部とする品目では、不可溶性繊維による筋っぽい食感は、品質に直接影響する。若茎を可食部とするアスパラガスにおいても、食感が品質や日持ち性などを評価するうえでの重要な観点とされ、不可溶性繊維による筋っぽさを十分に考慮する必要がある（Zurera ら，2000）。本試験では、元木ら（2012）の

方法に従って、花茎を切断する際に花茎から得られる抵抗力（破断応力）を測定し、硬さの評価をした。部位別の破断応力では、全体的に花茎の頂部が小さく、基部（切断面）に近づくほど破断応力が大きくなる傾向であった。部位別に測定した値の最大値を破断応力として比較すると、いずれの地域においても3月の値が最も大きく、収穫時期が遅くなるに従って値が小さくなる傾向にあった。特に埼玉県比企郡では、3月の最大値が5.9 Nであるのに対して、5月の最大値は1.1 Nであり、5分の1程度まで下がった。花茎のいずれの部位も、収穫時期が遅くなるに従って同等か減少する傾向にあり、破断応力の小さい0および2 cm付近でも同様の傾向であった。一方、水分率に差が確認されなかったことから、花茎中における繊維量の変化が花茎の硬さに影響していると考えられる。アスパラガスの若茎の硬さに関する研究では、基部に近いほど繊維量が多く、破断応力が高い傾向にあった（元木ら、2012；Zureraら、2000）。また、本試験において春の収穫始めの時期ほど破断応力が高く、過去の研究（Herner, 1990；Zureraら、2000）でも、春の収穫物では生育中の気温が低く、伸長量が小さくなり、硬化が進行しやすくなるため、夏の収穫物よりも繊維質で茎が硬くなると報告している。しかし、生産現場では、収穫時期が遅くなると、花茎から筋っぽさを感じると言われており、「のらぼう菜」が5月以降も収穫できない理由の一つとされている。本試験では、茎を切断することにより茎の硬さを評価したが、繊維質の筋っぽさによる硬さの影響を測定できなかった可能性がある。花茎の茎径において、収穫時期が遅くなるに従って著しく減少したことから、茎が細くなったことにより、破断応力も減少したものと考えられ、茎径と破断応力には高い正の相関関係が認められた（ $r=0.811^{**}$ ）。また、過去の研究（Herner, 1990；Zureraら、2000）によると、貯蔵方法にもよるが、収穫から日数が経過するに従って茎が硬くなるとされている。そのため、「のらぼう菜」の花茎の硬さに注目した品質評価を行うには、繊維量の測定を同時に行うことと、「のらぼう菜」の貯蔵試験を兼ねた硬さの評価をする必要がある。

- 1415 最後に、「のらぼう菜」の花茎は、アスパラガス（元木，2003）のように，花茎ごとの重量に対する規格が存在しないことから，太めの花茎を生産するほど，販売物の重量が増加する．また，太めの花茎は袋詰めの際の本数が少なくて済むため，収穫調製が細めの収穫物に比べて容易に行える．さらに，今後のアンケート調査が必要であるが，太めの花茎における見た目の良さから，太めの花茎を生産することにより，「のら
- 1420 ぼう菜」の普及と販売の促進につながる可能性もある．そのため，太めの花茎の生産技術の確立が「のらぼう菜」の普及に関する課題と考えられる．アスパラガス（元木，2003）のように，花茎ごとに規格を設定するとともに，太めの花茎の生産技術の検討や，「のらぼう菜」の品質や食味に関するアンケート調査なども含め，今後の研究が必要である．
- 1425 以上の結果，「のらぼう菜」の生産において，時期別による花茎の形態の変化が販売形態に大きく影響を及ぼし，地域や生産者ごとに出荷物の形態が異なり，ばらつきが大きいことが明らかになった．また，花茎の内容成分や茎の硬さなどを評価した品質も，時期別に異なることが明らかになり，項目によっては地域や生産者ごとに異なることが確認された．「のらぼう菜」はほかの葉茎菜類に比べて糖度（Brix）が高く，ア
- 1430 スコルビン酸が多いという特徴があることから，生産拡大のためには，高品質多収系統の選抜とその栽培技術の確立が望まれる．

第4章 「のらぼう菜」の栽培技術の検討

1435

第1節 主茎の摘心処理

緒言

神奈川県川崎市では、多摩区の菅地区を中心に地域在来ナバナの一つである「のらぼう菜」が古くから栽培されている。「のらぼう菜」は、農林水産省において「なばな（主として葉茎を食すもの）」に分類され、近年の遺伝子解析では、アブラナ属のセイヨウアブラナ (*Brassica napus* L.) に分類されることが明らかになった（北浦ら、2006）。「のらぼう菜」の収穫時期は、2月中下旬から5月上旬であり（椿，2009；柘植ら，2015），主茎と側枝部位の小さな花蕾，葉および茎からなる花茎を可食部とする。「のらぼう菜」の花茎は，サラダや洋菓子などの多様な調理に用いることが可能であり，食味も優れることから（清水・田中，2018），消費が増えている。品質としては，収穫後期の葉部に含まれるアスコルビン酸含量がほかの葉茎菜に比べて多く，収穫の前期における茎部の糖度が，春季のキャベツやアスパラガスなどに比べて同等か高い値を示す（柘植ら，2015）。神奈川県川崎市では，2001年に生産地で「菅のらぼう保存会」が発足し，川崎市は「のらぼう菜」を「かわさき農産物ブランド‘かわさきそだち’」に登録した（川崎市経済労働局，2012）。川崎市は，「菅のらぼう保存会」が管理し，生産現場で使用されている優良系統（‘No.6’，川崎市農業技術支援センター）を中心に，「のらぼう菜」の普及を進めている（川崎市経済労働局，2015；柘植ら，2018）。

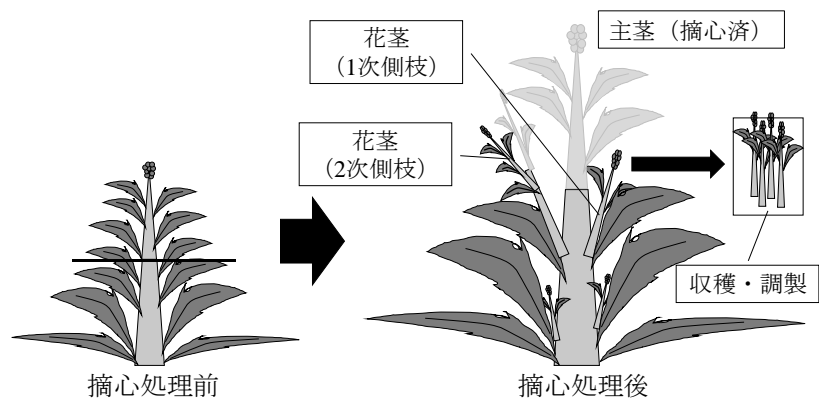
「のらぼう菜」の栽培では，近年作付面積が増加している‘はるの輝’（奥山ら，1995）や一部の地域で「芯切菜」と呼ばれている葉茎菜用セイヨウアブラナ（農業生物資源ジェンバンク；JP 番号 25942 および 25951）のように，株の「芯」に当たる主

茎を始めに摘心し、その後次々と発生する側枝部位の花茎を収穫する（第 4-1 図）（川崎市経済労働局，2012）。そのような「のらぼう菜」の栽培は、収穫開始からの栽培管理が特徴的である。川崎市における「のらぼう菜」の生産現場では、栽培方法が統一されていないことによる品質のばらつきが問題であり、普及現場の課題となっている（柘植ら，2015）。収穫適期に至った株を一斉に収穫するコマツナやタカナなどの葉茎菜と異なり、「のらぼう菜」の収量と品質のおもな決定要因の一つは主茎の摘心処理（川崎市経済労働局，2012）と考えられ、それらを統一する必要がある。しかし、主茎の摘心処理の要素として、時期と強度の 2 つがおもに挙げられるが、いずれも収量と品質に及ぼす影響について詳細が明らかになっていない。

本研究では、川崎市に在来する「のらぼう菜」の主茎の摘心処理について、栽培を 2014～2018 年の 5 年間、収穫期における試験を 2015～2018 年の 4 年間にわたって川崎市内の圃場で行い、主茎の摘心時期および摘心強度の違いが収量と花茎の品質に及ぼす影響を解析した。

1470

1475



第 4-1 図 「のらぼう菜」の主茎の摘心処理とその後の花茎の収穫までの模式図

材料および方法

1480 1. 供試材料と栽培条件

川崎市在来系統の‘No.6’（川崎市農業技術支援センター）を用いた（以下，‘のらぼう菜’）。栽培は，明治大学生田キャンパス内の露地圃場（神奈川県川崎市，標高50 m）で，2014年9月～2015年5月（以下，2015年；収穫年を表記），2015年9月～2016年5月（以下，2016年），2016年9月～2017年5月（以下，2017年）および2017年9月～2018年5月（以下，2018年）に行い，収穫期における試験を4年間にわたって行った。各試験における栽培条件および解析株数を第4-1表に示す。土壌は，いずれも淡色黒ボク土であり，播種，鉢上げおよび定植の日付は，相田（1994）の報告を参考に，いずれの試験も，播種は9月，鉢上げは9～10月，定植は11月に行った。育苗は，ハウス内で育苗床に播種し，本葉2～3枚展開期に9 cm ポットに鉢上げした。栽植様式は，畝間1485 70 cm，株間60 cm の1条植えとし，土壌表面を黒色マルチで被覆した。施肥は，小田原ら（1990）の報告を参考に，基肥として N: P₂O₅: K₂O=15: 20: 15 kg・10a⁻¹を施用し，追肥として N: P₂O₅: K₂O=12: 0: 12 kg・10a⁻¹を2回に分けて施用した。なお，追肥は主茎の伸長が始まる前で，株が越冬中の厳寒期に，定植日から約1か月の間隔で，12月と1490 1月に1回ずつ施用した。栽培中の圃場の気温は，温度計（おんどとり Jr.TR-52i, (株)ティアンドデイ）を用い，定植から収穫終了時までを記録した。1495

2. 主茎の摘心時期および摘心強度

主茎の摘心時期の検討は 2015 および 2016 年に行った。主茎の本葉が 15～17 枚程度で，節間が詰まっており，主茎は伸長しておらず，抽苔開始の 2 週間程度前である未熟期，主茎の本葉が 20～22 枚程度であり，節間が 1～2 cm で，主茎の伸長が確認されるが，出蕾は確認されていない状態である抽苔開始期，主茎の本葉が 25～27 枚程度1500

であり、節間が 3～5 cm で、主茎が顕著に伸長しており、出蕾（花蕾の直径が 3 cm 程度）が確認された状態である出蕾期の計 3 処理区とした。異なる 3 つの処理区を均一な条件で比較するため、摘心後の株に残る主茎の葉数を 10～12 葉に揃えた。

1505 主茎の摘心強度の検討は 2015～2018 年に行った。摘心処理は抽苔開始期に行い、主茎を上部から数えて 5 葉程度除去し、株の 4 分の 1 程度の本葉数を除去する摘心強度（以下、弱）と、主茎を上部から数えて 10 葉程度除去し、株の 2 分の 1 程度の本葉数を除去する摘心強度（以下、強）の計 2 処理区とした。摘心の方法は、摘心強度が弱の場合、手で主茎の上部を折り、摘み取るように収穫し、強の場合、主茎の下位節に刃物を用いて切り込みを入れながら、最後は手で折り取って収穫した。

1510 主茎を摘心したのち、発生した側枝部位の花茎は、野村（2001）および小田原ら（1991）の報告を参考に、1 次側枝は 0～4 葉、それ以外の側枝は 0～3 葉残るようにして収穫した。

収穫開始日、収穫終了日および栽培日数は、第 4-2 表に示した。

3. 収量調査の方法

1515 試験の規模は、2015 年が 1 区 5 株 3～4 反復、2016 年が 1 区 5 株 3 反復、2017 年および 2018 年が 1 区 5 株 2 反復とし、収量調査は、1 株ごとに行った。収穫の時期は、各処理区において、収穫開始日から収穫終了日までの期間を日数で 3 等分し、それぞれを前期、中期および後期とした。前期は主茎と 1 次側枝、中期は 2 次側枝、後期は 3 次側枝以降が中心に収穫された。収穫は、柘植ら（2015）の報告を参考に、1 次側枝
1520 では葉先までの長さが 30 cm 以上に達した花茎を、2 次側枝以降では出蕾した花茎を収穫した（2015 年は、上記の段階に達した花茎が 1 株から 5 本以上発生した時に、達していない花茎も含めて一斉に収穫した）。収穫本数は、1 株から収穫した花茎の本数とした。総花茎重は、1 株から発生した花茎の発生量を示し、収穫した花茎すべての重量とした。可販収量は、吉田（1998）の報告と川崎市の「のらぼう菜」における

1525 出荷袋の大きさ（柘植ら，2018）を参考に，30 cm 以上に伸長した花茎は 30 cm 長に揃えて重量を測定した．平均 1 本重は，花茎の品質に関わる値であり，値が高いほど品質が優れることを示し（元木，2003；柘植ら，2015），可販収量を収穫本数で割った値とした．収穫終了日は，生産現場に合わせ，気温上昇に伴い，花茎における奇形の発生状況や，花茎の繊維質化と硬化による商品価値の損失，うどんこ病の発生程度
1530 などから判断した（第 4-2 表）．なお，2018 年のみ，総花茎重の調査は 5 月 7 日までとしたが，収穫本数および可販収量の調査のみ，2018 年 4 月 25 日までとした．積算地上部重は，花茎の発生量も含めた総合的な地上部のバイオマスを示し，収穫終了後に花茎を生産した株の地上部の重量を測定し，総花茎重の値を加算することにより算出した．また，株の形態と収量および品質との関係を解析するため，主茎径を，1 次
1535 側枝の最下節位において計測した．

4. 統計処理

統計処理は，エクセル統計 2012（（株）社会情報サービス）を用いて行った．時期別の収穫本数および平均 1 本重の変動については，前期，中期および後期の各収穫時期別に有意差検定を行った．主茎の摘心時期および摘心強度の検討については，それぞれ試験の違いを含む二元配置分散分析を行ったのち，各処理区間の有意差検定を行った．試験の違いによる分散の有意性を解析するため，収穫本数，総花茎重および可販収量については，収穫開始日から収穫終了日まで，積算地上部重については，定植日から収穫終了日までの日数で割り，1 日当たりの値に換算して統計処理を行った．統計処理は，主茎の摘心処理の開始までに欠株または顕著に生育不良であった株を除
1540 き，積算地上部重のデータを基準に上下値を外して，中庸な 6～16 株について行った（第 4-1 表）．
1545

第 4-1 表 各試験における栽培条件および解析株数

試験	土壌条件		日付			解析株数 (n)
	pH	EC (ds・ m ⁻¹)	播種	鉢上げ	定植	
2015 年	6.7	0.18	2014 年 9 月 1 日	2014 年 9 月 22 日	2014 年 11 月 19 日	16
2016 年	6.9	0.10	2015 年 9 月 1 日	2015 年 10 月 18 日	2015 年 11 月 17 日	11 または 13
2017 年	6.5	0.10	2016 年 9 月 1 日	2016 年 9 月 29 日	2016 年 11 月 28 日	6 または 8
2018 年	6.0	0.11	2017 年 9 月 29 日	2017 年 10 月 26 日	2017 年 11 月 16 日	8

第 4-2 表 ‘のらぼう菜’ の収穫開始日，収穫終了日および栽培日数^z

摘心時期	試験	収穫 開始日 (a)	収穫 終了日 (b)	栽培日数 (日)		
				定植日 ～a	a～b	合計
未熟期	2015 年	2 月 26 日	5 月 11 日	99	75	174
	2016 年	2 月 15 日	5 月 7 日	90	83	173
抽苔開始期	2015 年	3 月 13 日	5 月 11 日	113	61	174
	2016 年	3 月 2 日	5 月 7 日	106	67	173
	2017 年	3 月 4 日	5 月 8 日	96	66	162
	2018 年	3 月 17 日	5 月 7 日	121	52	173
出蕾期	2015 年	3 月 21 日	5 月 11 日	122	52	174

^z 収穫開始日，収穫終了日およびそれらに基づく日数の算出は，それぞれ最初に収穫が始まった株および最後に収穫が終了した株に合わせた

結 果

1. 気象条件

1560 月別の平均気温は、11～2月（定植からおおよその収穫開始まで）において、2016年がほかの試験年に比べて高い傾向であり、3～5月（おおよその収穫開始から収穫終了まで）において、2018年がほかの試験年に比べて高い傾向であった（第4-3表）。

月別の積算温度は、11～2月において、平均気温と同様、2016年がほかの試験年に比べて高い傾向であり、3および4月において、2018年がほかの試験年に比べて高い傾向であった。定植から翌月の12月は、平均気温、積算温度ともに、2015年および2018

1565 年がほかの試験年に比べて低い傾向であり、最高値を示した2016年との間に平均気温で3.2～3.3℃、積算温度で99～100℃・日の差があった。また、3月は、平均気温、積算温度ともに、2017年がほかの試験年に比べて低い傾向であり、最高値を示した2018年との間に平均気温で3.2℃、積算温度で101℃・日の差があった。

2. 収穫時期別の生育・収量

1570 ‘のらぼう菜’の時期別の収穫本数、総花茎重、可販収量および平均1本重を見ると、収穫本数は、2015年において、後期が前期および中期に比べて多く、2016および2017年において、前期から後期に移行するに従って多くなり、2018年において、中期および後期が前期に比べて多かった（第4-2図）。総花茎重は、2015年において、時期の間に有意差が認められず、2016年において、前期から後期に移行するに従って軽

1575 くなった。しかし、2017年において、中期および後期が前期に比べて重く、2018年において、前期から後期に移行するに従って重くなった。可販収量は、2015および2017年において、時期の間に有意差が認められず、2016年において、中期および後期が前期に比べて少なかった。しかし、2018年において、中期および後期が前期に比べて重かった。平均1本重は、2015年において、後期が前期および中期に比べて軽く、2016

1580 および 2017 年において、前期から後期に移行するに従って軽くなり、2018 年において、中期および後期が前期に比べて軽かった。

最後に、地上部の生育量を示す調査項目について見ると、収穫本数、総花茎重、積算地上部重および可販収量は相互に有意に高い正の相関関係が、一方、平均 1 本重は上記 4 項目と有意に高い負の相関関係が認められた（第 4-4 表）。さらに、株の形態との関係を解析するために調査した主茎径は、収穫本数、総花茎重および積算地上部重と有意に高い正の相関関係が認められた。

3. 主茎の摘心時期の検討

主茎の摘心時期の違いが‘のらぼう菜’の収量および品質に及ぼす影響を見ると、二元配置分散分析の結果、試験には、いずれの項目においても有意性が認められ、摘心時期には、収穫本数、総花茎重、積算地上部重および可販収量において有意性が認められたものの、平均 1 本重においては有意性が認められなかった（第 4-5 表）。交互作用には、いずれの項目においても有意性が認められなかった。摘心時期間の比較の結果、収穫本数、総花茎重、積算地上部重および可販収量は、2015 年において、抽苔開始期が未熟期および出蕾期に比べて値が高く、2016 年において、抽苔開始期が未熟期に比べて値が高かった。平均 1 本重は、いずれの試験年においても、摘心時期の間に有意差が認められなかった。

4. 主茎の摘心強度の検討

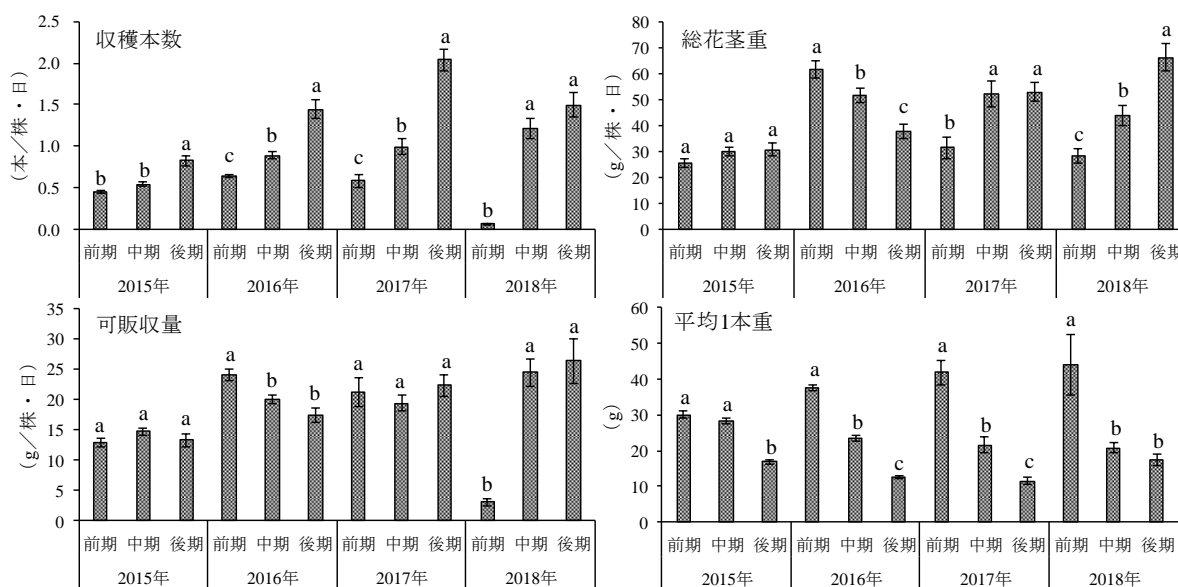
主茎の摘心強度の違いが‘のらぼう菜’の収量および品質に及ぼす影響を見ると、二元配置分散分析の結果、試験には、いずれの項目においても有意性が認められたものの、摘心強度には、いずれの項目においても有意性が認められなかった（第 4-6 表）。交互作用には、積算地上部重に有意性が認められた。摘心強度間の比較の結果、収穫本数は、いずれの試験年においても摘心強度の間に有意差が認められなかった。総花茎重は、2017 年において、弱が強に比べて重かったものの、ほかの 3 つの試験年にお

いて、摘心強度の間に有意差が認められなかった。積算地上部重は、2017年において、
1605 弱が強に比べて重かったものの、ほかの3つの試験年において、摘心強度の間に有意
差が認められなかった。可販収量は、いずれの試験年においても摘心強度の間に有意
差が認められなかった。平均1本重は、いずれの試験年においても摘心強度の間に有
意差が認められなかった。

第4-3表 定植日から収穫終了日までの各月の平均気温および積算温度

試験	平均気温 (°C)							積算温度 (°C・日)						
	11月 ^z	12月	1月	2月	3月	4月	5月 ^z	11月 ^z	12月	1月	2月	3月	4月	5月 ^z
2015年	10.3	5.3	4.6	5.1	9.9	14.8	20.2	123	164	143	142	308	444	222
2016年	12.0	8.5	4.8	6.5	10.1	15.7	20.8	168	263	149	188	313	472	146
2017年	9.5	7.7	4.5	6.1	7.9	14.4	18.8	29	237	138	170	244	431	151
2018年	8.9	5.2	3.4	4.7	11.1	16.9	21.1	134	163	106	131	345	508	169

1610



1615

第4-2図 ‘のらぼう菜’の時期別の収穫本数，総花茎重，可販収量および平均1本重の変動
 縦棒は標準誤差を示す (n = 12~70)
 各試験の時期間において，Tukey-Kramerの検定により，異符号間に $P < 0.05$ で有意差あり

第 4-4 表 調査項目間における相関関係^z

	収穫本数	総花茎重	積算地上部重	可販収量	平均 1 本重
収穫本数 (本/株・日)	1.000				
総花茎重 (g/株・日)	0.866 **y	1.000			
積算地上部重 (g/株・日)	0.920 **	0.758 **	1.000		
可販収量 (g/株・日)	0.957 **	0.897 **	0.845 **	1.000	
平均 1 本重 (g)	-0.881 **	-0.720 *	-0.858 **	-0.730 *	1.000
主茎径 (mm)	0.682 **	0.711 *	0.834 **	0.633	-0.636

^z 各試験の処理区の平均値を用いて、相関係数を算出した(主茎径との組合せは n = 9, それ以外の組合せは n = 11)

^y *は $P < 0.05$, **は $P < 0.01$ で有意であることを示す

第4-5表 主茎の摘心時期の違いが‘のらぼう菜’の収量および品質に及ぼす影響

試験	摘心時期	収穫本数 (本/株・日) ^z	総花茎重 (g/株・日)	積算地上部重 (g/株・日)	可販収量 (g/株・日)	平均1本重 (g)
2015年	未熟期	0.52 ± 0.04 ^y b ^x	21.6 ± 1.1 b	16.6 ± 0.5 b	12.0 ± 0.6 b	23.9 ± 0.9 a
	抽苔開始期	0.72 ± 0.06 a	33.5 ± 2.0 a	19.1 ± 0.8 a	16.5 ± 1.0 a	23.5 ± 1.0 a
	出蕾期	0.48 ± 0.05 b	26.3 ± 1.6 b	13.5 ± 0.6 c	11.5 ± 0.8 b	25.4 ± 1.1 a
2016年	未熟期	0.82 ± 0.06 ^{*w}	40.2 ± 1.7 ^{**}	21.9 ± 1.1 [*]	18.0 ± 0.9 [*]	22.6 ± 1.0
	抽苔開始期	1.07 ± 0.07	57.9 ± 3.4	26.5 ± 1.9	21.2 ± 0.9	20.3 ± 0.9 ^{n.s.}
分散分析 ^v						
試験 (A)		** (<0.001)	** (<0.001)	** (<0.001)	** (<0.001)	* (0.010)
摘心時期 (B)		** (<0.001)	** (<0.001)	** (<0.001)	** (<0.001)	n.s. (0.302)
交互作用 (A×B)		n.s. (0.703)	n.s. (0.148)	n.s. (0.245)	n.s. (0.434)	n.s. (0.379)

^z 収穫本数, 総花茎重および可販収量は収穫開始日から, 積算地上部重は定植日から, 収穫終了日までの日数で割り, 1日当たりの値に換算した

^y 平均値±標準誤差(n = 11~16)

^x Tukey-Kramerの多重比較検定により, 異符号間に $P < 0.05$ で有意差あり

^w t検定により, *は $P < 0.05$, **は $P < 0.01$, n.s.は有意差なしを示す

^v 二元配置分散分析により, ()内は P 値を示し, *は $P < 0.05$, **は $P < 0.01$ を示す

第 4-6 表 主茎の摘心強度の違いが‘のらぼう菜’の収量および品質に及ぼす影響

試験	摘心強度	収穫本数 (本/株・日) ^z	総花茎重 (g/株・日)	積算地上部重 (g/株・日)	可販収量 (g/株・日)	平均 1 本重 (g)
2015 年	弱	0.69 ± 0.06 ^y	32.5 ± 2.2	20.3 ± 0.9	14.2 ± 1.2	21.1 ± 1.0
	強	0.72 ± 0.06 n.s. ^x	33.5 ± 2.0 n.s.	19.1 ± 0.8 n.s.	16.5 ± 1.0 n.s.	23.5 ± 1.0 n.s.
2016 年	弱	1.11 ± 0.08	54.0 ± 3.2	23.9 ± 1.6	22.5 ± 1.0	21.0 ± 1.0
	強	1.07 ± 0.07 n.s.	57.9 ± 3.4 n.s.	26.5 ± 1.1 n.s.	21.2 ± 0.9 n.s.	20.3 ± 0.9 n.s.
2017 年	弱	1.29 ± 0.08	49.9 ± 3.2	33.0 ± 2.1	22.0 ± 1.6	17.0 ± 0.7
	強	1.09 ± 0.11 n.s.	39.8 ± 3.2 *	24.0 ± 1.5 **	19.5 ± 0.9 n.s.	19.2 ± 2.6 n.s.
2018 年	弱	0.97 ± 0.12	44.4 ± 3.0	20.3 ± 1.3	19.6 ± 2.1	20.4 ± 1.2
	強	0.88 ± 0.08 n.s.	48.0 ± 2.4 n.s.	20.9 ± 0.7 n.s.	16.4 ± 0.9 n.s.	19.2 ± 1.2 n.s.
分散分析 ^w						
試験 (A)		** (<0.001)	** (<0.001)	** (<0.001)	** (<0.001)	** (0.008)
摘心強度 (B)		n.s. (0.192)	n.s. (0.849)	n.s. (0.065)	n.s. (0.207)	n.s. (0.448)
交互作用 (A×B)		n.s. (0.526)	n.s. (0.132)	** (<0.001)	n.s. (0.088)	n.s. (0.286)

^z 収穫本数, 総花茎重および可販収量は収穫開始日から, 積算地上部重は定植日から, 収穫終了日までの日数で割り, 1 日当たりの値に換算した

^y 平均値±標準誤差 (n = 6~16)

^x t 検定により, *は $P < 0.05$, **は $P < 0.01$, n.s.は有意差なしを示す

^w 二元配置分散分析により, () 内は P 値を示し, *は $P < 0.05$, **は $P < 0.01$ を示す

考 察

本研究において栽培した‘のらぼう菜’は、収穫時期別の生育・収量を比較した結果、収穫本数が、収穫の後期に移行するに従って多くなる傾向、平均1本重が、収穫の後期に移行するに従って軽くなる傾向であり（第4-2図）、柘植ら（2015）と同様の傾向を示した。しかし、総花茎重および可販収量は、試験年によって時期別の変動が異なり、一定の傾向は得られなかった。調査項目間の相関関係では、収穫本数が増えるに従って、収量も増えるが、平均1本重は減る関係性が見られた（第4-4表）。
また、株の形態を示す主茎径との相関関係の解析結果から、‘のらぼう菜’は、主茎の太さから収穫本数や‘のらぼう菜’自体の生育量などを推測できるものと考えられた。

‘のらぼう菜’が分類されるセイヨウアブラナの生育ステージは、一般的に播種から出蕾までが栄養成長期、開花から莢の種を採種できる時期までが生殖成長期に分けられ（Harper・Berkenkamp, 1975）、茎葉を利用する‘のらぼう菜’の収穫は、栄養成長期に行われる。また、セイヨウアブラナは、栄養成長期に花蕾を除去すると茎葉などの栄養器官が増大すると報告されているため（Noquetら, 2004）、主茎の摘心処理により、‘のらぼう菜’の収量などが変化するものと考えられる。

そこで本研究では、最初に主茎の摘心時期の検討を、2015および2016年に行った。収穫本数、総花茎重、積算地上部重および可販収量の解析結果（第4-5表）から、主茎の摘心時期の違いが‘のらぼう菜’の収量に影響を及ぼしているものと考えられ、抽苔開始期が、‘のらぼう菜’の収量と生育の面で適切な主茎の摘心時期であると考えられた。まず、出蕾期の摘心の収量は、抽苔開始期の摘心に比べて劣ったが、Pressmanら（1985）も、ブロッコリーにおいて、頂花蕾が発生した生育ステージで摘心を行った結果から、頂花蕾および側枝が発生する前の早い生育ステージの摘心に比べて収量が低い傾向であったと報告している。また、Takahashiら（2019）は、ブロッコリーに

1650 おいて、側枝重が小さい品種ほど頂花蕾重が大きい傾向にあり、主茎と側枝はバイオマス分配で競争的關係にあることを報告している。本研究の出蕾期の摘心では、主茎にバイオマスが多く分配された状態で摘心を行ったため、その後の側枝部位の花茎の発生が劣り、株全体の草勢を取り戻すためには収穫開始日が遅かったと考えられることから、適切な収穫日数ではなかった可能性がある。次に、未熟期の摘心も、抽苔開始期の摘心に比べて収量などが劣った。未熟期の摘心では、収穫の前期における総花茎重が、ほかの摘心時期に比べて軽く（第 4-3 図）、収穫の前期における花茎の発生が旺盛ではなかったため、増収しなかった可能性がある。未熟期は、抽苔開始期に比べて収穫開始日が 14~16 日早く（第 4-2 表）、実際の生産において、収穫の開始を早めるために、すべての栽培株のうちの一部で行うことが有効かもしれないものの、生産性の面で適切な摘心時期ではないと考えられる。

次に、主茎の摘心強度の検討を抽苔開始期に行い、4 年間にわたるデータを解析した。既報（Shabani ら、2013）では、セイヨウアブラナのナタネにおいて、葉面積指数（LAI）と株の成長率は正の相関関係にあると報告されていることから、強い強度の摘心では、株が多くの茎葉を失い、花茎の発生量や生育、収量などが低下すると推測される。しかし、収穫本数、総花茎重、積算地上部重および可販収量の解析結果（第 4-6 表）から、基本的に主茎の摘心強度の違いは‘のらぼう菜’の収量に影響を及ぼさないものと考えられ、本研究では、花茎の発生量や生育、収量などの顕著な低下は見られず、2017 年のみ、総花茎重および積算地上部重において、強い強度の摘心が弱い強度の摘心に比べて劣った。一方、平均 1 本重も、摘心強度の間に有意差は見られなかった。しかし、第 4-2 図と同様、収穫期間を収穫開始日から収穫終了日までの日数で 3 等分し、それぞれ前期、中期および後期に分けて時期別で平均 1 本重を解析したところ、収穫の前期のみにおいて、強い強度の摘心が弱い強度の摘心に比べて重くなり、収穫の前期では、2017 年を除くいずれの試験年においても有意差が認められた（第

4-4 図) . アブラナ属の芽キャベツでは、主茎上で発生する芽の大きさは、主茎の半分より下の節で増加すると報告されている (Wilcockson・Abuzeid, 1991) . また、ブロッコリーでも、1 株から 2 花蕾収穫する栽培の場合、大きい花蕾を生産できる実用的な早生品種は、下位節で側芽発生力を備えていると報告されているため(小寺, 1988),

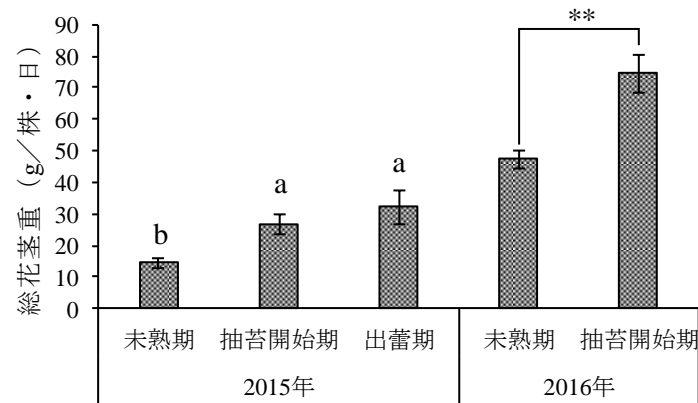
1675 強い強度の摘心では、収穫の前期において、下位節から発生する側枝を利用する傾向になり、それらの側枝は、上位節から発生する側枝に比べて大きな形態で発生したものと考える。しかし、前述の第 4-6 表のとおり、全収穫期間においては、強い強度の摘心による平均 1 本重の増加は確認されなかった。その要因はいくつか考えられるが、

1680 前述の葉面積指数 (LAI) と成長率の関係や施肥量などが挙げられる。施肥量について、セイヨウアブラナの窒素吸収量は、栄養成長期が生殖成長期に比べて高いと報告されており (Noquet ら, 2004) , そのうちの葉茎菜では、追肥量を増やすことにより増収することが報告されている (小田原ら, 1990) . そのため、‘のらぼう菜’ 自体の生育量や全収穫期間の平均 1 本重を増やすことなどを目的に、施肥量を変える試験も、今後検討する必要があると考える。

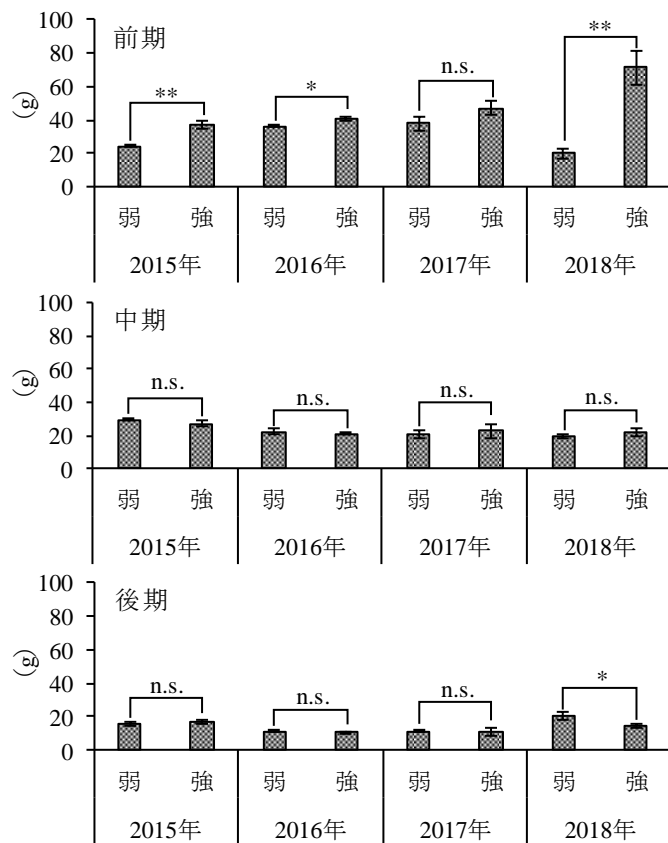
1685 最後に、産地全体における「のらぼう菜」の品質の観点から考察する。「のらぼう菜」は、厳格な出荷基準や等級分けが存在しないが、ナバナの産地では、厳格な収穫調製および出荷方法が存在し、規定の資材に太ものと細ものを区別して同じ重量になるように包装するなど (西村, 2004) , 規格の揃った商品が出荷されている。しかし、ナバナは出荷調製の負担が大きく、収穫調製の作業は生産における全体の労働時間の

1690 約 83% を占めるとされる (高橋, 2005) . ナバナの生産において、花茎の 1 本重が重ければ、少ない収穫回数で一定の収量が得られること、収穫物を重量ごとに等級分けする (元木, 2003) 場合は花茎の上物率が高くなること、1 袋または 1 束当たりの花茎の本数が少量で済み、出荷調製を省力化できること (押切・大泉, 2011) などの多くのメリットが考えられる。農産物直売所における「のらぼう菜」の花茎の平均 1 本

1695 重は、3月が40.6g、4月が19.3g、5月が8.4gと月ごとに減少していくが、1袋当たりの平均重量は、3月が298g、4月が393g、5月が361gと月ごとに減少していくことはないため、収穫の後期へ移行するに従って、1袋または1束を調製するために必要な花茎の本数が顕著に増加する（柘植ら、2015）。そのため、「のらぼう菜」の生産による収益の向上を考えると、収量を減少させず、1本重が重い花茎を持続的に生産できる栽培法が、「のらぼう菜」の産地全体において有益であると考えられる。本研究の結果、「のらぼう菜」の主茎の摘心処理で収量を減少させない方法として、抽苔開始期に主茎を摘心すること、1本重が重い花茎を生産する技術として、強い強度で主茎を摘心することが明らかになった。しかし、強い強度で摘心すると、平均1本重の増加が確認されるのは収穫の前期のみであったことから、今後は、強い強度の摘心を行っても収量が下がらず、収穫の中期以降でも1本重が重い花茎を生産できる栽培法を検討する必要がある。



第4-3図 主茎の摘心時期の違いが‘のらぼう菜’の収穫の前期における総花茎重に及ぼす影響
 収穫の前期は、収穫開始日から収穫終了日までの期間を日数で3等分した際の、最初の収穫時期を示す
 縦棒は標準誤差を示す (n = 11~16)
 Turkey-Kramer の多重検定により、異符号間に $P < 0.05$ で有意差ありを示す
 t検定により、**は $P < 0.01$ を示す



第 4-4 図 主茎の摘心強度の違いが‘のらぼう菜’の時期別の平均 1 本重に及ぼす影響

時期は、収穫開始日から収穫終了日までの期間を日数で 3 等分し、それぞれを前期、中期および後期とした

縦棒は標準誤差を示す (n = 6~16)

t 検定により、*は $P < 0.05$ 、**は $P < 0.01$ 、n.s.は有意差なしを示す

緒 言

神奈川県川崎市の北部に位置する菅地区では、セイヨウアブラナ (*Brassica napus* L.) の葉茎菜である「のらぼう菜」が古くから栽培されている。「のらぼう菜」は、最初に主茎部位の花茎を 2 月中下旬頃に収穫し、その後次々と発生する側枝部位の花茎を 5 月上旬頃まで連続的に収穫する (椿, 2009; 柘植ら, 2015)。収穫物の花茎は、小さな花蕾、葉および茎からなり、花茎の調理用途は多様で、食味も優れることから (清水・田中, 2018)、地域の消費者からの支持が高い。川崎市は、「のらぼう菜」を「かわさき農産物ブランド‘かわさきそだち’」に登録しており (川崎市経済労働局, 2012)、2001 年に生産地域から発足した「菅のらぼう保存会」が管理する優良系統 (‘No.6’, 川崎市農業技術支援センター) を中心に、「のらぼう菜」の普及を進めている (川崎市経済労働局, 2015; 柘植ら, 2018)。

しかし、川崎市における「のらぼう菜」の生産現場では、栽培法が統一されていないため、生産者ごとに出荷時期や販売物の荷姿、花茎の品質などが異なり、それらが普及現場の課題となっている (柘植ら, 2015)。そのため、収量が安定し、品質の良い花茎を生産できるような栽培法に統一することが求められている。

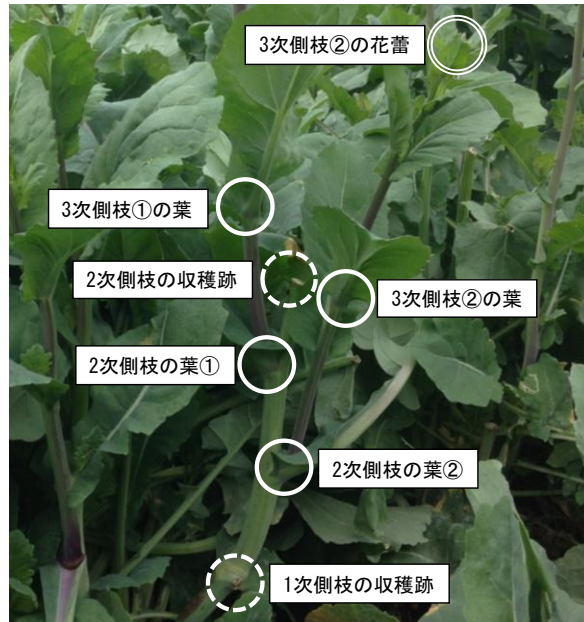
葉茎菜類のうち、同じ株から連続的に収穫する品目では、収穫物 1 本当たりの重量が評価されている。アスパラガスでは、収穫物を重量ごとに等級分けする場合、若茎 1 本当たりの重量が重ければ上物率が高くなる (元木, 2003)。葉茎菜用セイヨウアブラナでは、岩手県の‘はるの輝き’ (奥山ら, 1995) や香川県の‘瀬戸の春’ (加藤ら, 1999) など、花茎の平均 1 本重が重く、茎径が太いものが発生しやすい品種が育成されている。「のらぼう菜」でも、花茎の平均 1 本重と茎の太さが評価され、品質を示す調査項目となっている (柘植ら, 2015)。一方、ナバナの生産では、収穫調製の作業が全体の

労働時間の約 83%を占めるとされ（高橋，2005），平均 1 本重が重い花茎の生産は，
1745 少ない収穫回数で一定の収量が得られることや，1 袋または 1 束当たりの花茎の本数
が少量ですむことなどから，作業の省力化にもつながる（押切・大泉，2011）。

ところで，側枝を利用する野菜類のうち，収穫後に花芽や葉などが複数残った場合，
収穫物の品質を向上させることを目的に，切り戻しが行われている。その例として，ナ
スでは，側枝に残る葉に対する最適な切り戻しの方法が検討され（古賀ら，2015），福
1750 岡県で栽培されているアブラナ属のミチノクナタネでは，収穫時に 1 次側枝に残す葉
数について，花茎の平均 1 本重の評価とともに検討されている（小田原ら，1991）。ま
た，川崎市に在来の「のらぼう菜」も，収穫後の側枝に複数の葉が残るため（第 4-5
図），収穫後の側枝に残す葉数が，花茎の平均 1 本重に影響している可能性がある。一
部の生産現場では，川崎市の「のらぼう菜」において，収穫の後期に多く発生する茎
1755 径が細いものの収穫物を減らすため，収穫後の側枝に複数残った葉を除去する切り戻
しが行われている。しかし，「のらぼう菜」の側枝の切り戻しが，収量および品質に及
ぼす影響については明らかになっていない。

本研究では，川崎市の在来の「のらぼう菜」における側枝の切り戻しの有無および
強度の違いが，収量および花茎の品質に及ぼす影響を解析した。

1760



1765

第 4-5 図 ‘のらぼう菜’ の収穫中の側枝
写真は, 4 月中旬の 3 次側枝の収穫適期の様子
を示す

材料および方法

1. 供試材料と栽培条件

川崎市在来系統の‘No.6’（川崎市農業技術支援センター）を用いた（以下，‘のらぼう菜’）。試験は，明治大学生田キャンパス内の露地圃場（神奈川県川崎市，標高50
1770 m）で，2015年9月～2016年5月（以下，2016年；収穫年を表記），2016年9月～2017年5月（以下，2017年）および2017年9月～2018年5月（以下，2018年）に行い，2018年は，2016年，2017年と同じ圃場に加え（以下，2018年_1），明治大学生田キャンパス内のもう1か所の露地圃場（標高60 m）でも試験を行った（以下，2018年_2）。土壌は，いずれも淡色黒ボク土であり，2016年は，pH 6.9，EC 0.10 ds·m⁻¹，2017年は，pH 6.5，EC
1775 0.10 ds·m⁻¹，2018年_1は，pH 6.0，EC 0.11 ds·m⁻¹，2018年_2は，pH 6.4，EC 0.09 ds·m⁻¹であった。栽培は，相田（1994）の報告を参考に，2016年が，2015年9月1日播種，10月18日にポットに移植，11月17日定植，2017年が，2016年9月1日播種，9月29日にポットに移植，11月28日定植，2018年_1および2018年_2が，2017年9月29日播種，10月26日にポットに移植，11月16日定植とした。育苗は，ハウス内で育苗床に播種し，9 cm
1780 ポットに移植した。栽植様式は，畝間70 cm，株間60 cmの1条植えとし，黒色マルチで土壌表面を被覆した。施肥は，小田原ら（1990）の報告を参考に，基肥として N:P₂O₅:K₂O=15:20:15 kg·10a⁻¹を施用し，追肥として N:P₂O₅:K₂O=12:0:12 kg·10a⁻¹を2回に分けて施用した。なお，追肥は主茎の伸長が始まる前で，株が越冬中の厳寒期に，定植日から約1か月の間隔で，12月と1月に1回ずつ施用した。主茎の摘心は，抽苔が開始した時期において，主茎の本葉が20～22枚程度の時に，そのうちの2分の1より上部
1785 の主茎を除去した（柘植ら，2016）。

2. 側枝の切り戻し

側枝の切り戻しは，主茎の摘心後に発生する1次側枝の収穫時から開始し，2016年は3月12日，2017年は3月18日，2018年_1は4月3日，2018年_2は3月29日か

1790 ら開始した。試験区は、切り戻しを行わない無処理区と切り戻しの強度が異なる4つ
の処理区とした。切り戻しの強度が異なる4つの処理区は、「のらぼう菜」において、
収穫後に側枝に残る葉数が株の部位により異なるため(第4-6図)、まずは、野村(2001)
および小田原ら(1991)の報告を参考に、収穫後に複数の葉が残った側枝に対して、
1795 弱い切り戻しと強い切り戻しを行った。弱い切り戻しは、側枝の葉数が2葉の時には
1葉、3葉のときには2葉、4葉の時には3葉、5葉以上の時には4葉を側枝に残し、
強い切り戻しは、側枝の葉数が2葉の時には0葉、3葉のときには1葉、4葉の時には
2葉、5葉以上の時には3葉を側枝に残し(株の下方の部位の側枝ほど、残す葉数が多
い)、弱い切り戻しと強い切り戻しの間には、常に側枝に残す葉数で1葉の差をつけ
た。次に、収穫の全期間中に弱い切り戻しを行う処理区を強度1、2次側枝の発生の最
1800 盛期(4月上中旬)まで弱い切り戻しを行い、それ以降は収穫終了まで強い切り戻し
を行う処理区を強度2、1次側枝の発生の最盛期(3月中旬~4月上旬)まで弱い切り
戻しを行い、それ以降は収穫終了まで強い切り戻しを行う処理区を強度3、収穫の全
期間中に強い切り戻しを行う処理区を強度4とし、切り戻しの強度が異なる計4つの
処理区を設けた(第4-7図)。切り戻しの実際の方法は、収穫の前期では、側枝におけ
1805 る収穫後の残莖部が軟弱であったため、手で残莖部を折り、収穫の中期以降では、株
の生育ステージも進み、側枝における収穫後の残莖部が硬くなっていたため、刃物を用
いて残莖部を切除することで、切り戻した。

3. 収量調査の方法

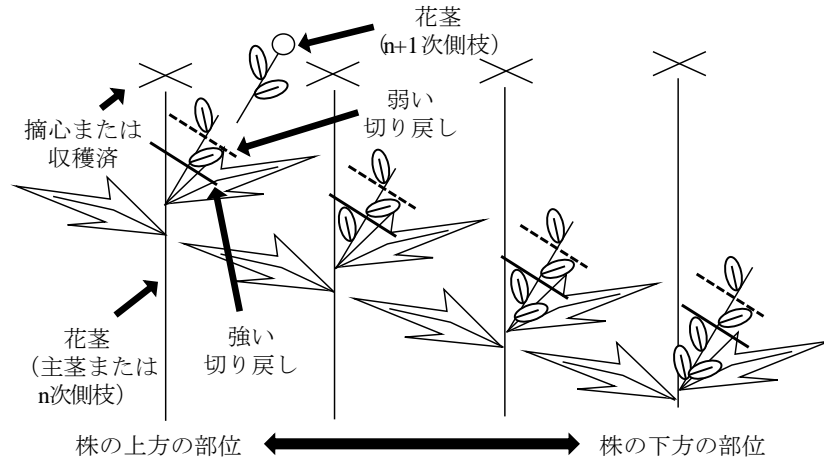
試験の規模は、2016年が1区5株3反復、2017年が1区5株1~2反復(強度3お
1810 よび4が2反復)、2018年_1および2018年_2が1区5株1反復とし、収量調査は、
1株ごとに行った。収穫は、柘植ら(2015)の報告と川崎市の「のらぼう菜」における
出荷袋の大きさ(柘植ら、2018)を参考に、1次側枝では長さが30cm以上に達した
花茎を、2次側枝以降では出蕾した花茎を30cm長で収穫した(30cm長以内でも出蕾

した場合は収穫した). 収穫本数は, 1 株から収穫した花茎の本数とした. 可販収量は,
1815 前述の 1 次側枝および 2 次側枝以降を含めた花茎の重量を合計して算出した. 総花茎
重は, 1 株から発生した花茎の発生量を示し, 可販収量に, 切り戻しの際に切り取っ
た部位の重量を加えて算出した. 可販率は, 総花茎重のうちの可販収量の割合として
百分率で算出した. 平均 1 本重は, 可販収量を収穫本数で割った値とし, 値が高いほ
ど品質が優れることを示す(元木, 2003; 柘植ら, 2015). 収穫終了日は, 生産現場に
1820 合わせ, 気温上昇に伴い, 花茎における奇形の発生状況や, 花茎の繊維質化と硬化に
よる商品価値の損失, うどんこ病の発生程度などから判断した. なお, 2018 年_1 およ
び 2018 年_2 のみ, 総花茎重の調査は 5 月 7 日までとしたが, 収穫本数および可販収
量の調査のみ, それぞれ 2018 年 4 月 25 日および 30 日までとした. 株重は, 収穫終了
時点での株の地上部重量とし, 積算地上部重は, 花茎の発生量も含めた地上部のバイ
1825 オマスを示し, 株重に総花茎重の値を加算することにより算出した.

4. 統計処理

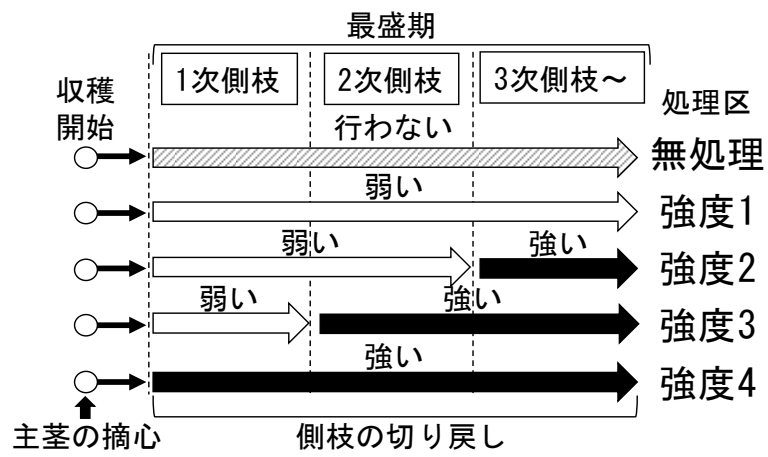
統計処理は, エクセル統計((株)社会情報サービス)を用いて行った. 統計処理で
は, はじめに, 切り戻しの有無の検討として, 各栽培環境において強度が最も強い切
り戻しの処理区を「あり」, 切り戻しを行わない無処理区を「なし」として, 栽培環境
1830 と切り戻しの「あり」「なし」の 2 要因で二元配置分散分析を行ったのち, 切り戻しの
有無間の有意差検定を行った. 次に, 切り戻しの強度の検討として, 栽培環境と切り
戻しの強度の 2 要因で二元配置分散分析を行ったのち, 無処理を加えて, 全処理区間
の有意差検定を行った. 栽培環境の違いによる分散の有意性を解析するため, 収穫本
数, 総花茎重および可販収量については, 収穫開始日から収穫終了日まで, 積算地上
1835 部重については, 定植日から収穫終了日までの日数で割り, 統計処理を行った. 時期
別の分析は, 各処理区において, 収穫開始日から収穫終了日までの期間を日数で 3 等
分し, それぞれを前期, 中期および後期とした. 統計処理は, 側枝の切り戻しの開始

までに欠株または顕著に生育不良であった株を除き，積算地上部重のデータを基準に上下値を外して，中庸な3～11株について行った．なお，2017年の1反復であった処理区および2018年_2については，欠株および顕著に生育不良であった株が発生せず，処理区内の生育が全体的に揃っていたことから，調査した全株を対象とした．



第 4-6 図 異なる株の部位における側枝の切り戻しの強度についての模式図

‘のらぼう菜’は、側枝上に発生する葉の位置が、株の部位により異なる
 弱い切り戻しは、いずれの株の部位においても、強い切り戻しに比べて1葉多く残して切り戻した



第4-7図 切り戻しの強度が異なる処理区の内容図

結 果

1. 切り戻しの有無が収量および品質に及ぼす影響

1855 1) 全収穫期間の結果

栽培環境と側枝の切り戻しの有無が‘のらぼう菜’の収量および品質に及ぼす影響を見ると、二元配置分散分析の結果、栽培環境は平均1本重を除くすべての項目に有意性が認められ、切り戻しの有無はいずれの項目においても有意性が認められ、交互作用は収穫本数および株重に有意性が認められた(第4-7表)。収穫本数は、いずれの栽培環境においても、切り戻しなしがありに比べて多く、株重は、2017年および2018年_2において、切り戻しなしがありに比べて重かった。積算地上部重は、2017年において、切り戻しなしがありに比べて重く、可販収量は、2017年および2018年_1において、切り戻しなしがありに比べて多かった。平均1本重は、いずれの栽培環境においても、切り戻しなしがありに比べて軽かった。

1865 2) 時期別の結果

栽培環境と側枝の切り戻しの有無が‘のらぼう菜’の時期別の収穫本数および可販収量に及ぼす影響の結果を第4-8表に示す。本研究における時期別の結果では、切り戻し後に発生した収穫物が、収穫の前期には収穫できなかったため、以降は、収穫の前期を除いて記述する。二元配置分散分析の結果、栽培環境は可販収量の中期を除くすべての項目および時期に有意性が認められ、切り戻しの有無はいずれの項目および時期においても有意性が認められ、交互作用は収穫本数の中期において認められた。収穫本数は、2018年_2の中期を除き、いずれの栽培環境および時期においても、切り戻しなしがありに比べて多く、可販収量は、2017年の中期および後期において、切り戻しなしがありに比べて多かった。

1875 次に、栽培環境と側枝の切り戻しの有無が‘のらぼう菜’の時期別の平均1本重に及ぼす影響を見ると、二元配置分散分析の結果、栽培環境および交互作用はいずれの

時期においても有意性が認められなかったものの、切り戻しの有無は、いずれの時期においても有意性が認められた（第 4-9 表）。中期は、2018 年_1 において、切り戻しなしがありに比べて軽く、後期は、2018 年_2 において、切り戻しなしがありに比べて

1880 軽かった。

2. 切り戻しの強度の違いが収量および品質に及ぼす影響

1) 全収穫期間の結果

栽培環境と側枝の切り戻しの強度における違いが‘のらぼう菜’の収量および品質に及ぼす影響を見ると、栽培環境と切り戻しの強度（強度 1～4）の 2 要因について二元配置分散分析を行った結果、栽培環境は平均 1 本重を除くすべての項目に有意性が認められ、切り戻しの強度はいずれの項目においても有意性が認められ、交互作用は株重、積算地上部重および可販率に有意性が認められた（第 4-10 表）。収穫本数は、2016 年において、強度 4 が強度 1 に比べて少なく、2017 年において、強度 1～4 が無処理に比べて少なく、さらに強度 4 が強度 1 に比べて少なかった。また、2018 年_1 に

1885 において、強度 2～4 が無処理に比べて少なく、2018 年_2 において、強度 3 が無処理に比べて少なかった。株重は、2016 年において、強度 4 が強度 1 に比べて軽く、2017 年において、強度 3 および 4 がほかの処理区に比べて軽く、2018 年_2 において、強度 2 および 3 が無処理に比べて軽かった。総花茎重は、2016 年において、強度 1 が強度 4 に比べて軽く、2017 年において、強度 3 が強度 2 に比べて軽かった。積算地上部重は、

1890 2017 年において、強度 3 および 4 がほかの処理区に比べて軽かった。可販収量は、2017 年および 2018 年_1 において、強度 3 および 4 が無処理に比べて少なかった。可販率は、2016 年において、強度 4 が強度 1 に比べて低く、2018 年_1 において、強度 4 が強度 2 に比べて低かった。平均 1 本重は、2016 年において、強度 4 が強度 1 に比べて重く、2017 年において、強度 3 および 4 が無処理に比べて重く、2018 年_2 にお

1895 いて、強度 3 が無処理に比べて重かった。

1900

2) 時期別の結果

栽培環境と側枝の切り戻しの強度における違いが‘のらぼう菜’の時期別の収量に及ぼす影響を見ると、栽培環境と切り戻しの強度（強度 1～4）の 2 要因について二元配置分散分析を行った結果、栽培環境および切り戻しの強度はいずれの項目および時期においても有意性が認められ、交互作用はいずれの項目および時期においても有意性が認められなかった（第 4-11 表）。収穫本数の中期は、2017 年において、強度 3 および 4 が無処理に比べて少なく、2018 年_1 において、強度 1～4 が無処理に比べて少なかった。収穫本数の後期は、2016 年において、強度 4 が強度 1 に比べて少なく、2017 年において、強度 1～4 が無処理に比べて少なく、2018 年_2 において、強度 3 が無処理に比べて少なかった。可販収量の中期は、2017 年において、強度 3 および 4 が強度 1 に比べて少なかった。可販収量の後期は、2016 年において、強度 4 が強度 1 に比べて少なく、2017 年において、強度 3 が無処理および強度 2 に比べて少なかった。

最後に、栽培環境と側枝の切り戻しの強度における違いが‘のらぼう菜’の時期別の平均 1 本重に及ぼす影響を解析したところ、二元配置分散分析の結果、栽培環境の後期を除き、いずれの要因および時期においても有意性が認められなかった（第 4-12 表）。

第4-7表 栽培環境と側枝の切り戻しの有無が‘のらぼう菜’の収量および品質に及ぼす影響

栽培環境	切り戻しの有無	収穫本数 (本/株・日) ^z	株重 (g)	積算地上部重 (g/株・日)	可販収量 (g/株・日)	平均1本重 (g)
2017年	なし	2.14 ± 0.11 ^y ***	4,016 ± 672 **	34.6 ± 4.7 *	29.4 ± 2.5 **	13.7 ± 0.7 **
	あり	0.98 ± 0.06	1,148 ± 82	23.4 ± 0.9	20.7 ± 1.3	21.7 ± 1.8
2018年_1	なし	1.71 ± 0.06 **	1,527 ± 159 n.s.	22.6 ± 1.8 n.s.	22.7 ± 1.8 *	13.3 ± 1.3 *
	あり	0.62 ± 0.09	1,008 ± 112	17.3 ± 2.0	12.8 ± 1.2	21.1 ± 1.3
2018年_2	なし	1.45 ± 0.13 *	2,684 ± 256 **	27.9 ± 1.8 n.s.	25.6 ± 3.0 n.s.	17.7 ± 1.6 *
	あり	0.97 ± 0.10	1,492 ± 174	24.3 ± 1.1	22.3 ± 1.9	23.3 ± 0.8
分散分析 ^w						
栽培環境(A)		** (<0.001)	** (0.004)	** (0.008)	* (0.014)	n.s. (0.121)
切り戻しの有無(B)		** (<0.001)	** (<0.001)	** (0.003)	** (<0.001)	** (<0.001)
交互作用(A×B)		** (0.003)	** (0.005)	n.s. (0.230)	n.s. (0.287)	n.s. (0.705)

^z 収穫本数および可販収量は、収穫開始日から収穫終了日までの日数で、積算地上部重は、定植日から収穫終了日までの日数で割り、算出した

^y 平均値±標準誤差(なし:n = 3~5, あり:n = 3~8)

^x t検定により, *は $P < 0.05$, **は $P < 0.01$, n.s.は有意差なしを示す

^w 二元配置分散分析を行った結果を示す. *は $P < 0.05$, **は $P < 0.01$, n.s.は有意性なしを示し, ()内の数値は P 値を示す

第4-8表 栽培環境と側枝の切り戻しの有無が‘のらぼう菜’の時期別の収穫本数および可販収量に及ぼす影響

栽培環境	切り戻しの有無	収穫本数 (本/株・日) ^z			可販収量 (g/株・日)		
		前期	中期	後期	前期	中期	後期
2017年	なし	0.42 ± 0.06	1.46 ± 0.17 ***	4.47 ± 0.33 **	22.6 ± 2.9	27.0 ± 3.3 **	37.4 ± 3.6 *
	あり	0.42 ± 0.06 ^y	0.45 ± 0.04	2.10 ± 0.14	22.6 ± 2.9	13.3 ± 2.7	26.9 ± 2.8
2018年_1	なし	0.08 ± 0.01	2.59 ± 0.50 *	2.46 ± 0.39 *	5.2 ± 1.0	36.7 ± 5.8 n.s.	27.4 ± 7.6 n.s.
	あり	0.08 ± 0.01	0.75 ± 0.23	1.03 ± 0.11	5.2 ± 1.0	17.0 ± 4.2	15.1 ± 2.2
2018年_2	なし	0.60 ± 0.04	1.41 ± 0.09 n.s.	2.32 ± 0.32 *	23.9 ± 1.9	28.2 ± 3.5 n.s.	25.2 ± 3.9 n.s.
	あり	0.60 ± 0.04	1.24 ± 0.10	1.08 ± 0.23	23.9 ± 1.9	28.0 ± 3.8	14.7 ± 3.1
分散分析 ^w							
栽培環境 (A)	-	** (0.002)	** (<0.001)	-	n.s. (0.065)	** (0.004)	
切り戻しの有無 (B)	-	** (<0.001)	** (<0.001)	-	** (0.002)	** (0.002)	
交互作用 (A×B)	-	** (<0.001)	n.s. (0.065)	-	n.s. (0.056)	n.s. (0.974)	

^z 収穫開始日から収穫終了日までの日数を3等分した日数で割り、算出した

^y 平均値±標準誤差(なし:n = 3~5, あり:n = 3~8)を示し、前期は切り戻し処理の開始前であったため、いずれの強度においてもデータは同じ

^x t検定により、*はP < 0.05, **はP < 0.01, n.s.は有意差なしを示す

^w 二元配置分散分析を行った結果を示す。*はP < 0.05, **はP < 0.01, n.s.は有意性なしを示し、()内の数値はP値を示す

第 4-9 表 栽培環境と側枝の切り戻しの有無が‘のらぼう菜’の時期別の平均 1 本重に及ぼす影響

栽培環境	切り戻しの有無	平均 1 本重 (g)					
		前期		中期		後期	
2017 年	なし	66.8 ±	8.0 ^z	18.4 ± 0.8	n.s. ^y	8.4 ± 0.6	n.s.
	あり	66.8 ±	8.0	28.7 ± 4.4		13.4 ± 1.7	
2018 年_1	なし	68.3 ± 13.9		14.4 ± 0.7	**	11.6 ± 3.0	n.s.
	あり	68.3 ± 13.9		23.3 ± 1.4		15.2 ± 3.2	
2018 年_2	なし	39.6 ±	1.8	20.0 ± 2.3	n.s.	10.8 ± 0.6	*
	あり	39.6 ±	1.8	22.5 ± 1.9		13.7 ± 0.6	
分散分析 ^x							
栽培環境(A)	-			n.s. (0.440)		n.s. (0.368)	
切り戻しの有無(B)	-			* (0.022)		* (0.014)	
交互作用(A×B)	-			n.s. (0.463)		n.s. (0.795)	

^z 平均値±標準誤差(なし:n = 3~5, あり:n = 3~8)を示し, 前期は切り戻し処理の開始前であったため, いずれの強度においてもデータは同じ

^y t 検定により, *は $P < 0.05$, **は $P < 0.01$, n.s.は有意差なしを示す

^x 二元配置分散分析を行った結果を示す. *は $P < 0.05$, **は $P < 0.01$, n.s.は有意性なしを示し, ()内の数値は P 値を示す

第4-10表 栽培環境と側枝の切り戻しの強度における違いが‘のらぼう菜’の収量および品質に及ぼす影響

栽培環境	処理区	収穫本数 (本/株・日) ^z	株重 (g)	総花茎重 (g/株・日)	積算地上部重 (g/株・日)	可販収量 (g/株・日)	可販率 ^y (%)	平均1本重 (g)
2016年	強度1	1.53 ± 0.14 ^x a ^w	1,339 ± 132 a	47.0 ± 3.5 b	26.1 ± 2.1 a	24.8 ± 2.1 a	52.5 ± 1.2 a	16.4 ± 0.5 b
	強度4	1.06 ± 0.07 b	785 ± 144 b	61.2 ± 4.6 a	27.2 ± 1.1 a	21.6 ± 1.0 a	36.4 ± 1.9 b	20.9 ± 1.2 a
2017年	無処理	2.14 ± 0.11 a	4,016 ± 672 a	- ^y -	34.6 ± 4.7 a	29.4 ± 2.5 a	- -	13.7 ± 0.7 b
	強度1	1.44 ± 0.15 b	3,173 ± 184 a	46.6 ± 3.0 ab	35.9 ± 1.6 a	25.0 ± 2.2 ab	53.3 ± 2.1 a	17.5 ± 0.4 ab
	強度2	1.40 ± 0.12 bc	3,092 ± 263 a	51.5 ± 3.6 a	37.2 ± 1.3 a	26.0 ± 1.2 ab	51.0 ± 1.9 a	19.1 ± 1.9 ab
	強度3	1.09 ± 0.11 bc	1,257 ± 56 b	39.8 ± 3.2 b	22.4 ± 1.4 b	19.5 ± 0.9 b	49.8 ± 2.2 a	19.2 ± 2.6 a
	強度4	0.98 ± 0.06 c	1,148 ± 82 b	44.0 ± 1.5 ab	23.4 ± 0.9 b	20.7 ± 1.3 b	47.0 ± 2.7 a	21.7 ± 1.8 a
2018年_1	無処理	1.71 ± 0.06 a	1,527 ± 159 a	- -	22.6 ± 1.8 a	22.7 ± 1.8 a	- -	13.3 ± 1.3 a
	強度1	1.17 ± 0.29 ab	983 ± 165 a	39.1 ± 4.9 a	17.4 ± 2.4 a	19.1 ± 2.2 ab	61.8 ± 3.5 ab	17.7 ± 2.6 a
	強度2	0.79 ± 0.10 b	1,299 ± 100 a	42.9 ± 1.0 a	20.4 ± 0.4 a	16.1 ± 1.7 ab	65.7 ± 6.6 a	20.7 ± 2.3 a
	強度3	0.81 ± 0.10 b	1,282 ± 88 a	47.2 ± 3.2 a	21.6 ± 1.0 a	15.0 ± 0.2 b	54.4 ± 4.7 ab	19.1 ± 2.1 a
	強度4	0.62 ± 0.09 b	1,008 ± 112 a	38.1 ± 5.6 a	17.3 ± 2.0 a	12.8 ± 1.2 b	40.4 ± 3.9 b	21.1 ± 1.3 a
2018年_2	無処理	1.45 ± 0.13 a	2,684 ± 256 a	- -	27.9 ± 1.8 a	25.6 ± 3.0 a	- -	17.7 ± 1.6 b
	強度2	1.24 ± 0.09 ab	1,646 ± 95 b	55.1 ± 2.6 a	27.0 ± 1.2 a	27.1 ± 2.8 a	56.5 ± 3.9 a	21.6 ± 1.0 ab
	強度3	0.97 ± 0.10 b	1,492 ± 174 b	49.2 ± 1.2 a	24.3 ± 1.1 a	22.3 ± 1.9 a	56.7 ± 1.4 a	23.3 ± 0.8 a
分散分析 ^u								
栽培環境(A)	** (<0.001)	** (<0.001)	** (0.001)	** (<0.001)	** (<0.001)	** (<0.001)	** (<0.001)	n.s. (0.078)
切り戻しの強度(B)	** (<0.001)	** (<0.001)	* (0.046)	** (<0.001)	** (0.004)	** (<0.001)	** (<0.001)	** (0.008)
交互作用(A×B)	n.s. (0.873)	** (<0.001)	n.s. (0.077)	** (<0.001)	n.s. (0.843)	* (0.021)	n.s. (0.966)	

^z 収穫本数, 総花茎重および可販収量は, 収穫開始日から収穫終了日までの日数で, 積算地上部重は, 定植日から収穫終了日までの日数で割り, 算出した

^y アークサイン変換後に統計処理を行った

^x 平均値±標準誤差(n=3~11)

^w t検定またはTukeyの多重比較検定を栽培環境ごとに行い, 同じアルファベットを持つ処理区間にはP<0.05で有意差がないことを示す

^v 無処理は切り戻しの際に切り取った部位が発生せず, 総花茎重は可販収量とデータが同一であるため(可販率100%), 総花茎重および可販率はデータなし

^u 二元配置分散分析を強度1~4で行った結果を示す. *はP<0.05, **はP<0.01, n.s.は有意性なしを示し, ()内の数値はP値を示す

第4-11表 栽培環境と側枝の切り戻しの強度における違いが‘のらぼう菜’の時期別の収量に及ぼす影響

栽培環境	処理区	収穫本数(本/株・日) ^z			可販収量(g/株・日)		
		前期	中期	後期	前期	中期	後期
2016年	強度1	0.62 ± 0.02 ^y	1.15 ± 0.14 a ^x	2.85 ± 0.32 a	24.1 ± 1.3	23.0 ± 2.8 a	27.5 ± 3.3 a
	強度4	0.62 ± 0.02	1.06 ± 0.10 a	1.47 ± 0.22 b	24.1 ± 1.3	21.5 ± 1.6 a	15.9 ± 2.5 b
2017年	無処理	0.44 ± 0.05	1.46 ± 0.17 a	4.47 ± 0.33 a	21.2 ± 1.8	27.0 ± 3.3 ab	37.4 ± 3.6 a
	強度1	0.44 ± 0.05	1.20 ± 0.20 ab	2.73 ± 0.22 b	21.2 ± 1.8	28.4 ± 1.8 a	28.8 ± 2.5 ab
	強度2	0.44 ± 0.05	1.05 ± 0.14 ab	2.77 ± 0.19 b	21.2 ± 1.8	24.8 ± 2.1 ab	35.7 ± 2.9 a
	強度3	0.44 ± 0.05	0.74 ± 0.12 bc	1.97 ± 0.29 b	21.2 ± 1.8	15.3 ± 1.5 bc	19.2 ± 1.6 b
	強度4	0.44 ± 0.05	0.45 ± 0.04 c	2.10 ± 0.14 b	21.2 ± 1.8	13.3 ± 2.7 c	26.9 ± 2.8 ab
2018年_1	無処理	0.08 ± 0.00	2.59 ± 0.50 a	2.46 ± 0.39 a	4.7 ± 0.5	36.7 ± 5.8 a	27.4 ± 7.6 a
	強度1	0.08 ± 0.00	1.20 ± 0.19 b	2.23 ± 0.70 a	4.7 ± 0.5	24.6 ± 3.1 a	29.8 ± 5.8 a
	強度2	0.08 ± 0.00	0.93 ± 0.15 b	1.38 ± 0.15 a	4.7 ± 0.5	24.4 ± 1.4 a	18.2 ± 4.0 a
	強度3	0.08 ± 0.00	1.03 ± 0.09 b	1.33 ± 0.37 a	4.7 ± 0.5	19.4 ± 4.4 a	21.2 ± 3.6 a
	強度4	0.08 ± 0.00	0.75 ± 0.23 b	1.03 ± 0.11 a	4.7 ± 0.5	17.0 ± 4.2 a	15.1 ± 2.2 a
2018年_2	無処理	0.65 ± 0.03	1.41 ± 0.09 a	2.32 ± 0.32 a	26.9 ± 2.0	28.2 ± 3.5 a	25.2 ± 3.9 a
	強度2	0.65 ± 0.03	1.48 ± 0.14 a	1.51 ± 0.21 ab	26.9 ± 2.0	28.8 ± 3.1 a	19.4 ± 2.4 a
	強度3	0.65 ± 0.03	1.24 ± 0.10 a	1.08 ± 0.23 b	26.9 ± 2.0	28.0 ± 3.8 a	14.7 ± 3.1 a
分散分析 ^w							
栽培環境(A)	-	** (<0.001)	** (<0.001)	-	** (0.008)	** (0.005)	
切り戻しの強度(B)	-	** (0.006)	** (<0.001)	-	** (0.006)	** (<0.001)	
交互作用(A×B)	-	n.s. (0.117)	n.s. (0.625)	-	n.s. (0.079)	n.s. (0.074)	

^z 収穫開始日から収穫終了日までの日数を3等分した日数で割り、算出した

^y 平均値±標準誤差(n = 3~11)を示し、前期は異なる切り戻し処理の開始前であったため、いずれの強度においてもデータは同じ

^x t検定またはTukeyの多重比較検定を栽培環境ごとに行い、同じアルファベットを持つ処理区間にはP < 0.05で有意差がないことを示す

^w 二元配置分散分析を強度1~4で行った結果を示す。*はP < 0.05, **はP < 0.01, n.s.は有意性なしを示し、()内の数値はP値を示す

第 4-12 表 栽培環境と側枝の切り戻しの強度における違いが ‘のらぼう菜’ の時期別の平均 1 本重に及ぼす影響

栽培環境	切り戻しの強度	平均 1 本重 (g)		
		前期	中期	後期
2016 年	強度 1	38.7 ± 1.2	20.4 ± 0.9 a	9.6 ± 0.3 a
	強度 4	38.7 ± 1.2	20.8 ± 0.8 a	11.0 ± 0.7 a
2017 年	強度 1	64.1 ± 6.6	26.0 ± 4.1 a	10.6 ± 0.5 a
	強度 2	64.1 ± 6.6	26.6 ± 6.1 a	13.2 ± 1.5 a
	強度 3	64.1 ± 6.6	22.9 ± 4.2 a	11.3 ± 2.6 a
	強度 4	64.1 ± 6.6	28.7 ± 4.4 a	13.4 ± 1.7 a
2018 年_1	強度 1	61.9 ± 7.2	21.0 ± 2.3 a	14.9 ± 2.9 a
	強度 2	61.9 ± 7.2	27.3 ± 3.0 a	13.5 ± 3.0 a
	強度 3	61.9 ± 7.2	18.7 ± 3.1 a	17.2 ± 2.2 a
	強度 4	61.9 ± 7.2	23.3 ± 1.4 a	15.2 ± 3.2 a
2018 年_2	強度 2	41.2 ± 1.6	19.5 ± 1.6 a	13.3 ± 1.7 a
	強度 3	41.2 ± 1.6	22.5 ± 1.9 a	13.7 ± 0.6 a
分散分析 ^w				
栽培環境 (A)	-	n.s.	(0.066)	** (0.004)
切り戻しの強度 (B)	-	n.s.	(0.667)	n.s. (0.569)
交互作用 (A×B)	-	n.s.	(0.684)	n.s. (0.723)

^z 調査せず

^x 平均値±標準誤差 (n = 3~11) を示し, 前期は異なる切り戻し処理の開始前であったため, いずれの強度においてもデータは同じ

^y 各試験において, t 検定または Tukey の多重比較検定により, 異符号間に $P < 0.05$ で切り戻しの強度間に有意差ありを示す

^w 二元配置分散分析により, () 内の数値は P 値を示し, *は $P < 0.05$, **は $P < 0.01$, n.s.は有意性なしを示す

1930

考 察

本研究では、側枝の切り戻しの有無において、解析結果（第 4-7 表）から、‘のらぼう菜’で切り戻しを行わない場合、花茎の発生本数が増え、株が大きく肥大し、収量が増えるものと考えられた。また、積算地上部重は、切り戻しなしが有りに比べて多い傾向であった。‘のらぼう菜’には収穫本数と可販収量の間には正の相関関係があったため（第 4-4 表；前節）、切り戻しを行わない場合に収量が増えたのは、収穫本数が顕著に増えたためと考える。切り戻しなしの収穫本数は、株の茎葉の繁茂とともに多くなったが、茎径が細く、1 本重が軽いものの量が切り戻しありに比べて多かった（第 4-7 表）。また、生産現場では、切り戻しを行っていない圃場で、取り遅れや品質低下の影響などにより、本研究よりも早い時期に生産が終了している様子が見受けられる。

1935

1940

1945

1950

そのため、切り戻しを行わないことにより、収穫本数と収量を増やす栽培では、花茎の品質低下と収穫調製の作業の多さなどに留意する必要がある。一方で、切り戻しを行う場合、収量は減るものの、品質に関わる平均 1 本重は増えるものと考えられた。また、平均 1 本重を時期別で比較した結果、各栽培環境における切り戻しのなしとありの間の有意差は、全収穫期間の平均値の比較（第 4-7 表）に比べて少なかったものの、切り戻しありがなしに比べて重い傾向であり、切り戻しを行う場合、花茎の平均 1 本重が、収穫の中期と後期の両時期において増える可能性が示唆された（第 4-9 表）。農産物直売所における調査によると、収穫の後期に当たる 5 月は、「のらぼう菜」の販売物 1 袋または 1 束が平均 361 g で出荷されている（柘植ら，2015）。1 つの販売物に必要な本数を、平均 1 本重のデータで割って計算すると、切り戻しを行う場合は、切り戻しを行わない場合に比べて、花茎を 7~16 本減らしても、販売物が同じ重さに揃うため、切り戻しを行って栽培することにより、収穫調製の作業時間が短くなる可能性がある。

次に、側枝の切り戻しの強度において、解析結果（第 4-10 表）から、‘のらぼう菜’
で側枝の切り戻しを行う場合、切り戻しの強度を変えることによって、収量および品
1955 質が変化するものと考えられた。また、切り戻しの強度を強くするに従って、収穫本
数が減り、株重が軽くなり、可販収量も減る傾向が見られた。しかし、総花茎重と積
算地上部重は、一定の傾向が見られなかった。また、可販率は、切り戻しの強度が強
くなるに従って、可販収量に含まれない切り戻しの残渣が多くなるため、可販率が低
くなる傾向であった。平均 1 本重は、2016 年を除き、強度 1~4 の間に有意差が認め
1960 られなかったものの、栽培環境の影響と、栽培環境および切り戻しの強度の交互作用
が認められず、全体的に切り戻しの強度が強くなるに従って、やや増える傾向であっ
た。切り戻しの強度を変えることによる収量と品質の変化について、トマト（福地ら、
2004）とナス（古賀ら、2015）では、果房当たりの摘果数もしくは側枝で切り戻す葉
数を増やすに従って、収量が減る傾向が確認されている。また、ミチノクナタネでも、
1965 1 次側枝に残す葉数を少なくするに従って、光合成のための葉部の面積が減るため、
収量が減るとされているが、花茎の平均 1 本重が増える傾向であった（小田原ら、1991）。
しかし、本研究の結果から、‘のらぼう菜’でも、収穫期間中の切り戻しの強度を強く
していけば、光合成のための葉が除去されるため、収量が減っていくものと考えられ
る。

1970 最後に、それぞれの切り戻しの強度について、強度 1 は、可販収量が維持されたも
の、すべての切り戻しの強度のなかでは、収穫本数が最も多かった。強度 1 は収穫
の後期にも弱い切り戻しを行っているが、収穫の後期は、収穫の前期に比べて気温が
上昇し、花茎の伸長のスピードが速くなり、強度 1 の後期の収穫本数が、前期に比べ
て 2016 年は 4.6 倍、2017 年は 6.4 倍に増えた（第 4-11 表）。生産現場では、収穫の後
1975 期に収穫本数が増え、収穫が間に合わずに花茎が開花に至ることも多く見受けられる。
そのため、収穫の後期は収穫本数を減らすことが望ましく、強度 1 は、切り戻しを行

わなない栽培と同様に,収穫が遅れることによる花茎の品質低下に留意する必要がある.
強度 2 は, 収穫本数が減る傾向であったが, 強度 1 と同様, 可販収量が維持された (第
4-10 表). 一方, 強度 3 または 4 は, 収穫本数が減った. また, いずれの強度において
1980 も株が縮小し, 収量も減る傾向であったため, 栽培管理や減収などに留意する必要性
が考えられた. 以上から, ‘のらぼう菜’ の平均 1 本重を増加させるには, 切り戻しを
行うことが有効であると考えられ, 切り戻しの強度を変えることにより, 収量と品質
(平均 1 本重) が変化するものと考えられた. 今後は, 施肥の改善 (小田原ら, 1990)
や養分吸収特性の解析 (長野県, 2011), 受光量の解析 (井上ら, 2008) などを行うこ
1985 とにより, 総合的に ‘のらぼう菜’ の栽培法を検討していく必要がある.

第5章 「のらぼう菜」の鮮度保持技術の検討

緒言

- 1990 アブラナ科アブラナ属セイヨウアブラナ (*Brassica napus* L.) に分類される葉茎菜はおもに洋種ナバナと呼ばれ (山川, 2016), 国内では「なばな (主として花を食すもの, 主として葉茎を食すもの)」として流通している (農林水産省, 2014). その洋種ナバナに分類される「のらぼう菜」は, 埼玉県比企郡, 東京都あきる野市および神奈川県川崎市でおもに栽培されている地域伝統野菜であり (柘植, 2015), 小さな花蕾, 葉および茎からなる花茎は食味が優れ, 苦味が少なく, ほのかな甘味を感じる (椿, 2009).
- 1995 「のらぼう菜」は, お浸しや炒め物, 揚げ物, 生食サラダ, スムージーなど調理の用途が多様であり (清水・田中, 2018; 椿, 2009), マーケティングに有利な品質特性を有していることから, 地域の消費者からの支持が高い. 「のらぼう菜」の主産地の一つである川崎市では, 「川崎市農業技術支援センター知的財産ポリシーの制定」に基づき,
- 2000 川崎市多摩区の菅地区に在来する「のらぼう菜」の品質特性解明と栽培技術確立のための研究事業を 2015 年度から神奈川県および明治大学と共同で開始し (川崎市, 2015), それにより, 「のらぼう菜」の高付加価値化および普及が図られるようになった. 「のらぼう菜」を利用した地域活性化を目指す動きも始まっており, 川崎市内では「のらぼう菜」を用いたペーストや洋菓子などの加工品販売 (清水・田中, 2018) や JR 東日本
- 2005 本の「地産地消キャンペーン」による沿線飲食店での「のらぼう菜」を用いたメニューの販売事業 (川崎市, 2015) などが行われており, 今後も川崎市では「のらぼう菜」の生産および流通拡大が期待される.
- ところで, 葉茎菜は高い呼吸量と急速な水分減少により品質劣化が激しいとされ (大久保, 1998), 「のらぼう菜」も日持ち性が悪く, 生産現場では葉の萎れなど外観
- 2010 品質の劣化が早いとされている (柘植, 2015). さらに, 「のらぼう菜」は厳密な出荷

規格や等級などが規定されておらず，コールド・チェーンが確立されていない．農産物直売所ではプラスチックフィルムにより，開封状態で簡易に包装される，いわゆる袋詰め包装（以下，慣行 PP）がおもな販売形態である（第 5-1 図）．さらに，「のらぼう菜」は常温で販売されるため，鮮度保持の観点からすれば現状の流通は好ましいものではなく，今後生産および流通拡大を進めるためには，包装資材の選定と流通の改良が必要であり，適切な出荷形態に統一することが求められる．

葉茎菜の包装資材の利用試験については，ハウレンソウ（永井，1997）やコマツナ（高附ら，2016），ブロッコリー（波部，2011），「ナバナ」（鈴木，2006）などで事例がある．包装方法には，密封しない袋詰め包装や孔の空いたフィルムで包装する有孔フィルム包装，ガス透過性の高いフィルムを用いて行われる密封包装などがある（石谷，1989）．なかでも密封包装では，包装内のガス組成を大気に比べて低 O₂ および高 CO₂ 条件にすることにより青果物の呼吸速度を抑える MA 包装があり，低温流通システムを補う資材として期待されている（長谷川，2001）．さらに，MA 包装にはフィルムに直径数 10～200 μm の孔を空けた微細孔フィルム（以下，微細孔 MA）が利用されており，鮮度保持効果が明確に現れるとされる（石谷，1989；長谷川，2001）．ところで，生産量が多く，世界規模で栽培されているアスパラガス（*Asparagus officinalis* L.）では，包装資材による重量減少率の抑制や，穂先の開き具合などの外観品質の維持効果が確認されており（Villanueva ら，2005），特に，ガス組成を調整する CA 貯蔵および MA 貯蔵においては，顕著な鮮度保持効果が多くの先行研究で認められている（政岡ら，2014；Renquist，2005；Villanueva ら，2005）．

そこで本研究では，「のらぼう菜」の新たな出荷形態の可能性を検討するため，数種の包装資材および方法が，「のらぼう菜」の貯蔵後の品質に与える影響について，基礎研究が充実しているアスパラガスと比較して調査した．

2035



第 5-1 図 「のらぼう菜」の袋詰め包装（慣行 PP）

2040

材料および方法

1. 試験材料

供試材料は、いずれも神奈川県川崎市の明治大学生田キャンパス内の圃場（標高 50 m, 赤黄色土, pH 6.7, EC 0.18 mS·cm⁻¹）で栽培した。「のらぼう菜」は、川崎市の在
2045 来系統である‘No. 6’（川崎市農業技術支援センター）を供試し、2015年11月17日に
定植した。比較品目のアスパラガスは、‘ウェルカム’（株）サカタのタネ）を供試し、
2014年6月4日に定植した。アスパラガスの調査時は、露地長期どり栽培（元木、
2003）の3年株であった。栽培管理は、「のらぼう菜」は現地の慣行に準じて、アスパ
ラガスは、元木（2003）に準じて行った。収穫物は、同キャンパス内にある実験室に
2050 速やかに輸送した。いずれも収穫は2016年4月11日に行い、「のらぼう菜」は既報
（柘植，2015）を参考に、アスパラガスは出荷規格（元木ら，2011；Motokiら，2008）
に従って調製した。調製後、収穫物を各試験区に分配した。調査項目ごとに1試験区
につき、「のらぼう菜」は花茎を20本、アスパラガスも若茎を20本無作為に選抜し、
そこから、「のらぼう菜」は4~5本/束、アスパラガスは5~6本/束で、いずれも同
2055 等の重量（75±5 g/束）になるように組合せ、3束を作成して貯蔵した。

2. 包装資材

本試験で用いた包装資材は、微細孔によりガス組成の調整（低 O₂，高 CO₂ 状態）と
品質保持効果がある MA 包装袋（ナイロンとポリエチレンの2層，厚さ 50 μm，300×400
mm，野菜保存用ジッパー袋「P-プラス」，（株）住友ベークライト），孔が両面2か所
2060 ずつ空いており，被覆効果は期待できるが，ガス調整効果は期待できない有孔 PE 袋
（低密度ポリエチレン，孔 6 mm×4，厚さ 30 μm，340×480 mm，ニューポリ袋，福助
工業（株）），「のらぼう菜」の販売現場において使用されている慣行 PP（ポリプロピ
レン，厚さ 20 μm，200×300 mm，川崎市の慣行出荷袋）を用いた。なお，微細孔 MA
については，実験に用いた「P-プラス」の微細孔の直径が 20~200 μm および分布が 10

2065 ～約 1,000 個/m²の範囲内であり（農林水産省，2016），慣行 PP については，「のらぼう菜」のみに用いた．また，対照として包装資材なし（以下，無包装）を設けた．試料を各包装資材に入れたのち，暗黒条件下において 25℃（阿部，1994）で 7 日間貯蔵した（空調制御室：体積 58.35 m³，構造 鉄筋コンクリート造，空調制御機 FXYFP56MD（ダイキン工業（株）），湿度制御はなし）．

2070 3. 包装資材内のガス濃度および呼吸量

ガス濃度は，知野ら（2015）の方法を参考に，包装資材内の O₂ および CO₂ 濃度をガスアナライザー（DK-4100, Dansensor）により測定し，包装資材上にシリコンシールで固定した部分にガスアナライザー付属の針を刺した．呼吸量は，アクリルチャンバー（半径 4 cm，高さ 16 cm）で前述の方法により調製した試料を 1 時間密閉し，その間の CO₂ 排出量をガスアナライザーによって測定を行い，伊藤ら（1992）の方法に準じて呼吸量を算出した．

2080 4. 外観評価

「のらぼう菜」は，本研究において，貯蔵試験の開始前（2016 年 2 月 11～15 日）に，柘植ら（2014）の方法に準じて外観評価基準を作成し，その評価基準を用いて 5 段階で評価した．

アスパラガスは，北海道立総合研究機構（HRO）花・野菜センターの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）を参考に，曲がりや萎縮，若茎頭部の締まりなどに着目して 5 段階で評価した．

2085 5. 重量減少率，水分率，糖度および色差分析

重量減少率は，調査日に新鮮重を測定し，（収穫日の新鮮重－調査日の新鮮重）／収穫日の新鮮重×100 の式から算出した．水分率は，（調査日の新鮮重－調査日の乾物重）／調査日の新鮮重×100 の式から算出した．乾物重は約 70℃に設定した送風定温乾燥

機 (DRM620TB, アドバンテック (株)) を使用し, 十分に乾燥した後に測定した. 糖
2090 度は, 簡易糖度計 (PR-201 α , (株) アタゴ) を用いて測定し, 「のらぼう菜」は柘植ら
の方法 (柘植, 2015) に準じて茎部の搾汁液を分析した. 色差は, 分光測色計 (CM-
5, コニカミノルタ (株)) を用いた. 各個体の最大葉において 4 か所を測定し, L*,
a*, b* 値を測定した. また, 色相角度 (h°) を, $\tan^{-1}(b^*/a^*)$ の式から算出した.

6. 統計処理

2095 収集したデータは, エクセル統計 2012 ((株) 社会情報サービス) を用いて, 品目,
包装資材および貯蔵日数の 3 要因に対する三元配置分散分析を行った. また, 各貯蔵
日数における包装資材間の比較は Tukey の多重検定を, 貯蔵日数間の比較は, 収穫日
を対照群として Dunnett の多重検定を行った. 各品目における調査項目間の相関係数
は, すべての包装資材および貯蔵日数のデータを用いて算出した. なお, 呼吸量とほ
2100 かの調査項目間における相関係数については, 無包装のデータのみを用いて計算し,
呼吸量のデータに対応させるほかの調査項目では, いずれも 1 日当たりの変化量を算
出し, その算出値と呼吸量のデータ (貯蔵 7 日を除く) を用いて相関係数を求めた.

結 果

2105 1. 包装資材内のガス濃度

微細孔 MA と有孔 PE における「のらぼう菜」およびアスパラガスの包装資材内の
ガス濃度を第 5-2 図に示す. 微細孔 MA において, 「のらぼう菜」は, 貯蔵 1 日に O₂
は 4.1%, CO₂ は 16.3% を示したのち, 貯蔵 2~7 日にかけて O₂ は 0.1~1.8%, CO₂ は
19.3~21.8% のガス濃度を示した (第 5-2 図 A). 一方, アスパラガスは, 貯蔵 1~2 日
2110 に O₂ は 4.0~5.1%, CO₂ は 16.5~18.1% を示したのち, 貯蔵 4~7 日にかけて O₂ は 7.7
~8.9%, CO₂ は 12.6~13.6% のガス濃度を示した (第 5-2 図 B). 有孔 PE においては,
両品目とも, 大気の空気組成と同等の値を示した (第 5-2 図 C, D).

2. 分散分析

品目、包装資材および貯蔵日数の違いが各調査項目に及ぼす影響を第 5-1 表に示す。

- 2115 品目、包装資材および貯蔵日数の 3 要因について、三元配置分散分析（一部は二元配置分散分析）を行ったところ、各 3 要因の主効果は、すべての調査項目において有意性が確認された。また、 F 値は、呼吸量における品目の主効果において最も高い値を示した。交互作用についても、品目を A、包装資材を B、貯蔵日数を C とすると、重量減少率の $A \times B \times C$ 、水分率の $A \times B$ 、 $A \times C$ および $A \times B \times C$ 、外観評価-アスパラガスの $B \times C$ の組合せを除き、すべての調査項目と要因の組合せにおいて有意性が確認された。
- 2120

3. 呼吸量

「のらぼう菜」およびアスパラガスの呼吸量を第 5-3 図に示す。両品目とも、収穫日に最も高い呼吸量を示し、「のらぼう菜」の呼吸量は、収穫日に $685.9 \text{ mg CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ を示し、アスパラガス ($168.2 \text{ mg CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$) に比べて 4 倍程度多かった。貯蔵 1~

2125 7 日の呼吸量は、「のらぼう菜」が $278.8 \sim 386.1 \text{ mg CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ 、アスパラガスが $60.9 \sim 90.9 \text{ mg CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ で推移し、「のらぼう菜」はアスパラガスに比べて、いずれの貯蔵日数においても 3~5 倍高い呼吸量を示した。

4. 重量減少率、水分率および糖度

- 異なる包装資材が「のらぼう菜」およびアスパラガスの重量減少率、水分率および糖度に及ぼす影響を第 5-2 表に示す。重量減少率について、「のらぼう菜」の重量は、有孔 PE が貯蔵 2 日、慣行 PP が貯蔵 3 日および無包装が貯蔵 1 日から有意に減少したが、微細孔 MA はいずれの貯蔵日数においても収穫日と同等であった。微細孔 MA および有孔 PE の重量減少率は、貯蔵 1, 3, 5 および 7 日において無包装に比べて有意に低かった。また、微細孔 MA の重量減少率は貯蔵 3, 5 および 7 日、有孔 PE は
- 2135 貯蔵 5 および 7 日において慣行 PP に比べて有意に低かった。アスパラガスの重量は、いずれの処理区においても貯蔵 1 日から有意に減少した。微細孔 MA および有孔 PE

は、いずれの貯蔵日数においても、無包装に比べて有意に低かった。また、微細孔 MA は、貯蔵 3 および 7 日において有孔 PE に比べて有意に低かった。

水分率について、いずれの品目および処理区においても、貯蔵 1 日において水分率
2140 が上昇する傾向であった。「のらぼう菜」は、無包装が貯蔵 5 および 7 日において水分
率が有意に低下したが、ほかの処理区では、いずれの貯蔵日数においても水分率は収
穫日と同等であった。慣行 PP は、貯蔵 7 日、無包装は、貯蔵 5 および 7 日において、
微細孔 MA および有孔 PE に比べて有意に低かった。一方、アスパラガスは、有孔 PE
と無包装が貯蔵 7 日に有意に低下したが、微細孔 MA では、いずれの貯蔵日数におい
2145 ても水分率は収穫日と同等であった。無包装は、貯蔵 3～7 日に微細孔 MA および有
孔 PE に比べて有意に低かった。

糖度について、「のらぼう菜」は、慣行 PP が貯蔵 7 日、無包装が貯蔵 2～7 日に糖
度が有意に増加したが、ほかの処理区では、いずれの貯蔵日数においても糖度が収穫
日と同等であった。アスパラガスは、有孔 PE と無包装が貯蔵 7 日において糖度が有
2150 意に減少したが、微細孔 MA はいずれの貯蔵日数においても糖度が収穫日と同等であ
った。無包装は、貯蔵 3 日において微細孔 MA および有孔 PE に比べて、貯蔵 5 日
において微細孔 MA に比べて、貯蔵 7 日において有孔 PE に比べて糖度が有意に高かつ
た。

5. 外観評価および色差分析

異なる包装資材が「のらぼう菜」およびアスパラガスの外観評価および色相角度に
2155 及ぼす影響を第 5-3 表に示す。外観評価について、「のらぼう菜」の外観は、微細孔 MA
と有孔 PE が貯蔵 3 日、慣行 PP が貯蔵 2 日および無包装が貯蔵 1 日から有意に劣化
した。無包装の外観評価は、すべての貯蔵日数において、ほかの処理区に比べて同等
か有意に低かった。また、微細孔 MA および有孔 PE は、貯蔵 1 日において、慣行 PP
2160 および無包装に比べて評価が有意に高く、微細孔 MA は、貯蔵 3～7 日において、ほ

かの処理区に比べて評価が有意に高かった。アスパラガスの外観は、微細孔 MA が貯蔵 3 日から有意に劣化したが、ほかの処理区は貯蔵 1 日から有意に劣化した。有孔 PE は、いずれの貯蔵日数においても、無包装と差が確認されなかった。微細孔 MA は、貯蔵 2 日において、有孔 PE および無包装に比べて評価が有意に高く、貯蔵 3 日においては、有孔 PE に比べて評価が有意に高かった。

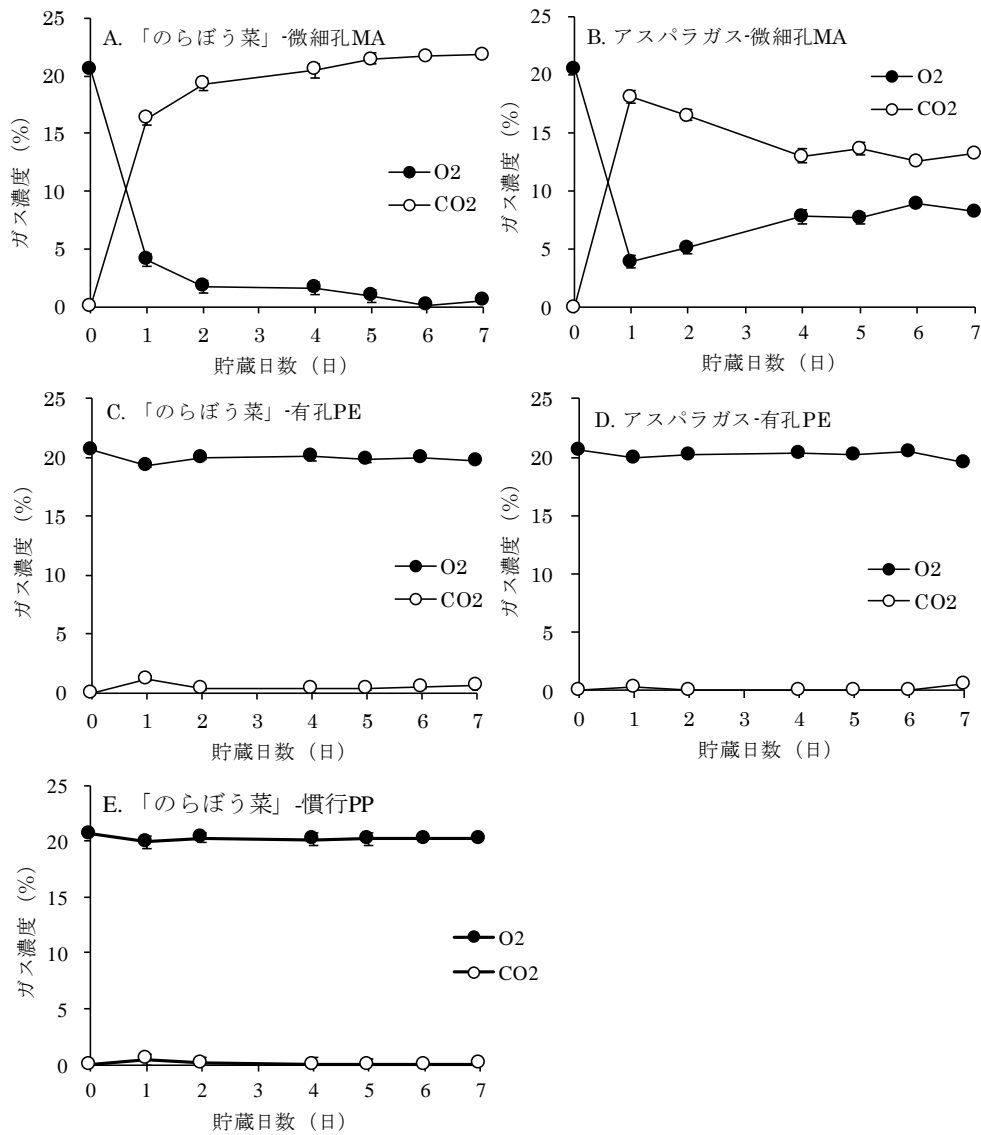
色相角度について、「のらぼう菜」の色相角度は、微細孔 MA が貯蔵 7 日から有意に低下し、有孔 PE、慣行 PP および無包装は貯蔵 3 日から有意に低下した。微細孔 MA は、貯蔵 3～7 日において、ほかの処理区に比べて有意に高い値を示し、有孔 PE は、貯蔵 3 日において慣行 PP および無包装に比べて、貯蔵 5 および 7 日において無包装に比べて有意に高かった。慣行 PP は、貯蔵 7 日において無包装に比べて有意に高かった。アスパラガスの色相角度は、有孔 PE が貯蔵 6 日から、無包装が貯蔵 7 日に有意に低下したが、微細孔 MA はいずれの貯蔵日数においても有意に低下しなかった。微細孔 MA は、貯蔵 6 および 7 日において無包装に比べて、貯蔵 7 日において有孔 PE に比べて有意に高かった。

2175 6. 相関関係

「のらぼう菜」およびアスパラガスの各調査項目間における相関関係を第 5-4 表に示す。「のらぼう菜」は、アスパラガスに比べて多くの調査項目間に有意な相関関係が確認された。「のらぼう菜」の呼吸量は、重量減少率との間に相関関係が確認され、重量減少率においてはすべての調査項目との間に、水分率においては重量減少率、糖度、a* および色相角度との間に、糖度においては重量減少率、水分率、外観評価、a*、b* および色相角度との間に、外観評価においては呼吸量および水分率を除くすべての調査項目との間に有意な相関関係が確認された。色相角度は、呼吸量を除くすべての調査項目との間に有意な相関関係が確認された。アスパラガスの重量減少率は、水分率

および外観評価との間に有意な負の相関関係が確認され、糖度および色相角度との間

2185 に有意な正の相関関係が確認された。



2190 第 5-2 図 微細孔 MA, 有孔 PE および慣行 PP における「のらぼう菜」とアスパラガスの包装資材内のガス濃度
 縦棒は標準誤差を示す (n = 3)
 貯蔵 3 日はデータなし

第5-1表 品目，包装資材および貯蔵日数の違いが各調査項目に及ぼす影響^z

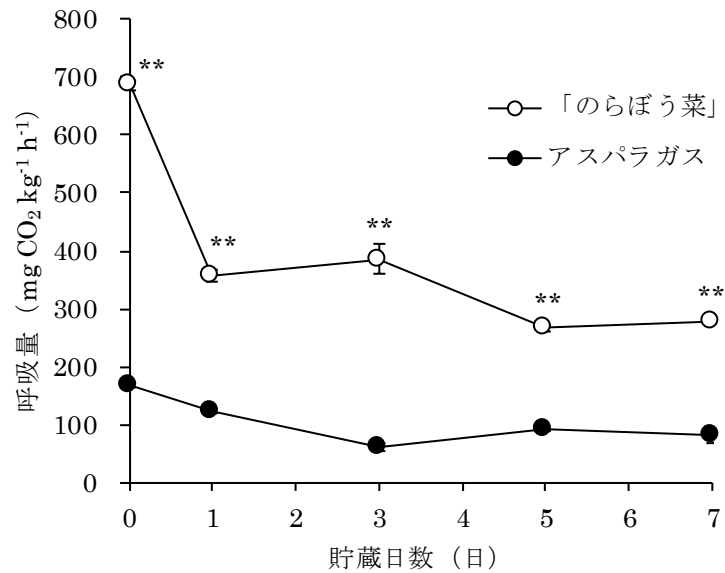
調査項目	品目 (A)	包装資 材 (B)	貯蔵日 数 (C)	A×B ^y	A×C	B×C	A×B×C
重量減少率 (%)	31.9 **	174.0 **	59.0 **	14.5 **	3.8 **	8.7 **	1.0
糖度 (°Brix)	51.8 **	24.5 **	4.9 **	20.8 **	9.3 **	2.9 **	5.8 **
水分率 (%)	830.9 **	30.2 **	5.2 **	2.6	0.4	7.3 **	1.8
L [*]	9.7 **	21.1 **	53.5 **	12.4 **	27.2 **	7.1 **	5.7 **
a [*]	97.8 **	49.3 **	66.6 **	16.9 **	16.5 **	10.2 **	4.8 **
b [*]	150.2 **	51.6 **	103.7 **	42.2 **	49.4 **	10.9 **	6.7 **
色相角度 (h°)	166.2 **	203.8 **	284.3 **	126.7 **	127.2 **	28.3 **	12.6 **
外観評価「のらぼう菜」(点) ^x	-	29.2 **	64.0 **	-	-	2.3 **	-
外観評価アスパラガス(点) ^x	-	16.3 **	81.5 **	-	-	1.2	-
呼吸量 (mg CO ₂ kg ⁻¹ h ⁻¹) ^w	2020.5 **	-	202.2 **	-	93.1 **	-	-

^z 三元配置分散分析を行った。数値はF値を示し，*はP<0.05，**はP<0.01を示す

^y 交互作用を示す

^x 外観評価は，点数評価基準が「のらぼう菜」とアスパラガスで異なることから，各品目において，包装資材と貯蔵日数の二元配置分散分析を行った

^w 呼吸量は，包装資材間の比較を行っていないことから，無処理における品目と貯蔵日数の二元配置分散分析を行った



第 5-3 図 「のらぼう菜」およびアスパラガスの呼吸量
(無包装, 25°C)
縦棒は標準誤差を示す (n=3)
t 検定により, **は品目間に 1%水準で有意差があることを示す
貯蔵 2, 4 および 6 日はデータなし

第 5-2 表 異なる包装資材が「のらぼう菜」およびアスパラガスの重量減少率、水分率および糖度に及ぼす影響

調査項目	貯蔵日数 (日)	「のらぼう菜」				アスパラガス		
		微細孔 MA	有孔 PE	慣行 PP	無包装	微細孔 MA	有孔 PE	無包装
	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
重量減少率 (%) ^z	1	1.1 b ^y	2.5 b	2.3 b	12.2 a ** ^x	0.4 b **	1.0 b **	4.9 a **
	2	2.0 b	8.6 ab **	4.6 b	19.8 a **	- ^w	-	7.9 **
	3	1.8 c	4.7 b *	8.0 b **	27.6 a **	0.6 c **	1.6 b **	11.9 a **
	4	-	-	-	35.8 **	-	-	16.1 **
	5	2.9 c	7.7 c **	17.8 b **	46.9 a **	1.2 b **	-	19.6 a **
	6	-	-	-	54.4 **	-	-	23.4 **
	7	2.5 c	10.2 c **	32.4 b **	59.1 a **	1.8 c **	3.4 b **	27.5 a **
	0	89.4	89.4	89.4	89.4	93.3	93.3	93.3
水分率 (%) ^z	1	90.5 a	89.6 a	90.5 a	90.0 a	93.9 a	94.1 a	93.6 a
	2	90.7 a	90.5 a	89.6 a	89.6 a	-	-	-
	3	90.4 a	89.3 a	90.4 a	89.7 a	94.2 a	94.2 a	93.2 b
	5	91.1 a	91.0 a	89.3 ab	86.7 b *	94.2 a	-	92.7 b
	7	91.5 a	90.5 a	87.6 b	85.9 b **	93.8 a	94.5 a *	91.5 b **
	0	6.2	6.2	6.2	6.2	5.7	5.7	5.7
糖度 (°)	1	4.5 b	5.0 a	5.2 b	6.5 a	5.4 a	5.3 a	5.7 a
	2	5.1 c	6.9 b	6.8 b	7.6 a *	5.4	-	-
	3	5.6 b	6.4 a	6.7 a	7.8 a *	5.3 b	4.8 b	6.1 a
	5	5.7 b	6.2 b	6.4 b	10.3 a **	4.8 b	-	6.5 a
	7	5.0 c	5.8 c	8.4 b **	11.4 a **	5.7 a	3.7 b **	3.9 a **

^z 逆正弦変換後、統計処理を行った

^y Tukey の多重比較検定を各品目および貯蔵日数で行い、包装資材間の比較を行った。異符号間に 5%水準で有意差あり (重量減少率: n = 3~4, 水分率: n = 3, 糖度: n = 3)

^x Dunnett の多重比較検定を各品目で行い、収穫日 (0 日) を対照群とした貯蔵日数間の比較を行った。*は 5%, **は 1%水準で収穫日と各貯蔵日数の間に有意差があることを示す

^w 調査せず

第5-3表 異なる包装資材が「のらぼう菜」およびアスパラガスの外観評価および色相角度に及ぼす影響

調査項目	貯蔵日数 (日)	「のらぼう菜」				アスパラガス		
		微細孔 MA	有孔 PE	慣行 PP	無包装	微細孔 MA	有孔 PE	無包装
外観評価 (点) ^z	0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
	1	4.0 a ^y	4.0 a	3.7 b	3.3 b **	4.0 a	3.7 a *	3.3 a **
	2	4.0 a	4.0 a	3.0 ab **	2.7 b **	4.0 a	2.7 b **	2.7 b **
	3	3.0 a **	2.8 b **	2.3 b **	2.3 b **	3.3 a **	2.0 b **	2.3 ab **
	4	3.3 a *	1.7 b **	1.7 b **	1.0 b **	2.3 a **	1.7 a **	1.7 a **
	5	3.3 a *	1.0 b **	1.0 b **	1.0 b **	2.0 a **	1.7 a **	1.3 a **
	6	3.0 a **	1.0 b **	1.0 b **	1.0 b **	1.7 a **	1.3 a **	1.0 a **
	7	2.7 a **	1.0 b **	1.0 b **	1.0 b **	1.3 a **	1.0 a **	1.0 a **
色相角度 (h°)	0	127.9	127.9	127.9	127.9	109.9	109.9	109.9
	1	129.5 a	128.5 a	128.7 a	128.0 a	111.1 a	112.8 a	111.3 a
	2	129.7 a	127.6 ab	124.7 b	126.5 ab	112.1 a	114.4 a	112.9 a
	3	127.6 a	121.6 b *	115.6 c **	110.8 c **	113.6 a	113.2 a	112.0 a
	4	- ^w	-	-	99.3 **	113.6 a	112.9 a	113.5 a
	5	125.6 a	101.0 b **	98.9 bc **	92.1 c **	112.8 a	107.0 a	108.3 a
	6	-	-	-	85.7 **	114.0 a	100.2 ab **	104.2 b
	7	121.9 a *	88.7 b **	88.4 b **	81.7 c **	115.3 a	98.5 b **	102.9 b *

^z 「のらぼう菜」は、「5」：切り口がみずみずしく、葉部や茎が締まっている状態、収穫直後、「4」：切り口が乾いており、葉が萎れ始めた状態、「3」：切り口が委縮しており、茎および葉柄にしわが発生し始めた状態、「2」：葉が萎れており、茎および葉柄にしわが発生している状態、「1」：葉が激しく萎れ、変色し始めており、茎および葉柄にしわが激しく発生している状態として評価を行った。アスパラガスは、北海道立総合研究機構（HRO）花・野菜センターの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）を参考に評価を行った

^y Tukey の多重比較検定を各品目および貯蔵日数で行い、包装資材間の比較を行った。異符号間に5%水準で有意差あり（外観評価: n = 3~4, 色相角度: n = 7~9）

^x Dunnett の多重比較検定を各品目で行い、収穫日（0日）を対照群とした貯蔵日数間の比較を行った。*は5%、**は1%水準で収穫日と各貯蔵日数の間に有意差があることを示す

^w 調査せず

第5-4表 「のらぼう菜」およびアスパラガスの各調査項目間 (X, Y) における相関関係

品目	X	Y											
		呼吸量 ^x	重量減少率	水分率	糖度	外観評価		L*	a*	b*			
		r	n	r	n	r	n	r	n	r	n	r	n
「のらぼう菜」	重量減少率	0.979 ^{xy}	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	水分率	0.641	4	-0.822 ^{**}	24	-	-	-	-	-	-	-	-
	糖度	-0.507	4	0.935 ^{**}	24	-0.869 ^{**}	24	-	-	-	-	-	-
	外観評価	-0.872	4	-0.730 ^{**}	26	0.345	24	-0.539 ^{**}	24	-	-	-	-
	L*	0.477	4	0.543 ^{**}	26	-0.298	24	0.370	24	-0.879 ^{**}	26	-	-
	a*	-0.583	4	0.826 ^{**}	26	-0.702 ^{**}	24	0.693 ^{**}	24	-0.697 ^{**}	26	0.721 ^{**}	26
b*	-0.077	4	0.658 ^{**}	26	-0.396	24	0.503 [*]	24	-0.909 ^{**}	26	0.975 ^{**}	26	
色相角度	0.550	4	-0.828 ^{**}	26	0.595 ^{**}	24	-0.684 ^{**}	24	0.886 ^{**}	26	-0.887 ^{**}	26	
アスパラガス	重量減少率	0.348	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	水分率	0.177	4	-0.832 ^{**}	14	-	-	-	-	-	-	-	-
	糖度	0.102	4	-0.221	13	0.174	13	-	-	-	-	-	-
	外観評価	-0.809	4	-0.652 [*]	17	0.109	14	0.411	15	-	-	-	-
	L*	0.102	4	-0.019	17	0.244	14	-0.308	15	-0.337	24	-	-
	a*	-0.216	4	0.416	17	-0.416	14	-0.406	15	-0.227	24	-0.326	24
b*	0.055	4	0.041	17	0.370	14	-0.499	15	-0.432	24	0.673 ^{**}	24	
色相角度	0.280	4	-0.442	17	0.309	14	0.601 [*]	15	0.332	24	0.033	24	

^x呼吸量とほかの調査項目間における相関係数のみ、無包装のデータのみを用いて計算し、ほかの調査項目ではいずれも1日当たりの変化量を算出して、その算出値と呼吸量のデータ（貯蔵7日を除く）を用いて相関係数を求めた。

^y*は5%, **は1%水準で有意であることを示す。

考 察

本研究の結果、微細孔 MA 内のガス濃度は、「のらぼう菜」の CO₂ が 19.3~21.8% と
2205 既報 (Cefola ら, 2009) に比べて高い値を推移した (第 5-2 図). その結果から高 CO₂
によるガス障害の可能性が示唆されるが、東尾ら (1980) は「のらぼう菜」と同じア
ブラナ属のブロッコリーを CO₂ 80% 下で 1 日置いてもガス障害は見られなかったと報
告している. しかし、ホウレンソウやシュンギクのように CO₂ 濃度が高くなると、ア
スコルビン酸がほとんどなくなってしまう葉茎菜があることから (1985), 「のらぼう
2210 菜」もアスコルビン酸が減少している可能性があるため、今後微細孔 MA 中のアスコ
ルビン酸含量については、別途検討する必要がある. 呼吸量は、「のらぼう菜」がアス
パラガスに比べて顕著に多く (第 5-1 表, 第 5-3 図), 「のらぼう菜」は品質劣化の発
生が早い (第 5-2 表, 第 5-3 表) ことが示唆された. Renquist ら (2005) は、アスパラ
ガスの呼吸量は 20°C で 173.0 mg CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ (3.93 μmol CO₂ g⁻¹ h⁻¹) と報告しており、
2215 本研究の 25°C の結果 (168.2 mg CO₂ kg⁻¹ h⁻¹) と類似していた. 一方、政岡ら (2016)
によると、「のらぼう菜」に形態が類似している「ナバナ」の呼吸量は、2 次側枝にお
いて、20°C の貯蔵 1 日で 400~450 mg CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ 程度と報告しており、本研究の 25°C
の「のらぼう菜」の結果 (356.9 mg CO₂ kg⁻¹ h⁻¹) と類似していた. また、石井 (1998)
も「ナバナ」は収穫直後の呼吸量が著しく高い品目の一つで、品質が傷みやすいと報
2220 告していることから、一般的に「のらぼう菜」を含む「ナバナ」類の品質劣化は早い
ものと考えられる.

本研究の全調査項目に対する分散分析の結果、交互作用の有意性から、「のらぼう菜」
とアスパラガスは、重量減少率、糖度、色度、明度および呼吸量の収穫後の変化が品
目間で異なるものと考えられた (第 5-1 表). 重量減少率は、おもに蒸散作用による水
2225 分の損失が要因であると考えられ (細田, 1989; 加藤ら, 1983), 委縮による外観品質
への影響など、青果物の品質劣化と密接に関わっている (大久保, 1988; 柘植ら, 2017).

本研究においても、重量減少率はいずれの品目も外観評価との間に相関が見られた(第 5-4 表)。「のらぼう菜」の慣行 PP における重量減少率は、貯蔵期間中を通じて、無包装に比べて有意に低い値で推移し(第 5-2 表)、実際に生産から流通現場で用いられている慣行 PP の袋詰め形態には、重量減少を抑制する効果があるものと考えられた。2230

しかし、有孔 PE の重量減少率は、貯蔵 5 日から慣行 PP に比べて有意に低くなり(第 5-2 表)、慣行 PP に比べて重量減少の抑制による高い鮮度保持効果を示した。それらの要因として、包材の開封の有無により、「のらぼう菜」における水分の蒸散量が大きく異なっていたことが考えられる。さらに、微細孔 MA では、「のらぼう菜」の有意な重量減少が発生せず、最も高い鮮度保持効果を示した(第 5-2 表)。そのため、微細孔 MA 2235

の利用は、「のらぼう菜」における鮮度保持に有効であると考えられる。一方、アスパラガスの重量減少率は、「のらぼう菜」に比べて低く、無包装(第 5-2 表)は先行研究(樋口ら, 2015; Renquist, 2005)と類似しており、先行研究(樋口ら, 2015; Renquist, 2005)と同様な品質劣化の程度を示したと考えられる。また、包装資材を用いること 2240

によりアスパラガスの重量減少の抑制効果が確認されたことも、既報(Villanueva ら, 2005)と同様であった。

水分率は、収穫物の品質を示し(飯野ら, 2010; 柘植ら, 2017)、糖度の変化と関連付けて報告されている(飯野ら, 2010)。水分率は、「のらぼう菜」、アスパラガスともに、すべての包装資材において、貯蔵 1 日が収穫日に比べて高くなる傾向であった(第 2245

5-2 表)。その理由として、水分率の上昇傾向は、収穫日の呼吸量が最も高かったことにより(第 5-3 図)、呼吸基質と考えられる糖などが分解され、水分の産生が進み(大久保, 1998)、水分の割合が増加したためと考える。また、微細孔 MA および有孔 PE において貯蔵期間中に水分率の有意な低下は確認されなかったが、両品目の無包装では、いずれも水分率が貯蔵 7 日の時点で有意に低下していた。そのため、無包装では、

2250 呼吸による水分以外の糖などの減少に比べて、蒸散作用による水分の減少の方が速かったものと考えられる。

糖度は、アスパラガスの有孔 PE と無包装において、貯蔵期間中に有意に減少した。その理由として、アスパラガスの若茎は貯蔵中においても伸長するが(樋口ら, 2015), 糖が若茎内の貯蔵養分として伸長作用に使われたため(中嶋, 2004), 糖度が減少したものとする。しかし、「のらぼう菜」では糖度の有意な減少が確認されず、無包装では貯蔵 2~7 日に有意に増加した(第 5-2 表)。「のらぼう菜」の無包装では葉部に黄化が見られたが(第 5-3 表), 同じ葉茎菜のハウレンソウでは、貯蔵初期の黄化の発生前の呼吸においては、糖やデンプンのような貯蔵成分を利用しており、黄化の発生後の呼吸においては、糖のほか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報告されている(日坂, 1989)。そのため、本研究においても、色相角度の低下とともに、おもな呼吸基質が糖以外の成分へと移行した可能性がある。さらに、前述と同様、無包装では水分の減少速度が速いと考えられ、「のらぼう菜」の糖度は水分率と負の相関も見られたことから(第 5-4 表), 糖度は水分率の低下とともに内容成分が濃縮され、上昇したものとする。

2265 外観評価は、著者らが本研究のために作成した「のらぼう菜」の外観評価基準と、アスパラガスの一般的な外観評価基準を用いて行った。「のらぼう菜」の有孔 PE と慣行 PP は、Dunnett の多重比較検定により、無包装に比べて 1~2 日長く収穫日と同等の外観を維持すると考えられたため、有孔 PE と慣行 PP の袋詰め包装は、外観に対する品質保持効果があるものと考えられた(第 5-3 表)。一方、アスパラガスは、穂先に開きが発生したため(達観調査), 有孔 PE と慣行 PP において外観評価が貯蔵 1 日から有意に低くなった(第 5-3 表)。また、アスパラガスでは有孔 PE と無包装との間に有意差が見られず、有孔 PE における外観の品質維持効果は確認できなかった。微

細孔 MA を両品目で比べると、「のらぼう菜」では、貯蔵 3～7 日において有孔 PE および慣行 PP に比べて有意に高い外観評価を示した（第 5-3 表）。しかし、アスパラガスでは、貯蔵 2 および 3 日に有孔 PE に比べて有意に高い外観評価を示し（第 5-3 表）、先行研究（Villanueva ら、2005）と同様、微細孔 MA の外観品質の維持効果が確認されたが、貯蔵 4～7 日では有孔 PE および無包装との間に有意差が見られなかった。そのため、「のらぼう菜」における微細孔 MA の利用は、アスパラガスに比べて収穫後の外観品質の維持に大きな効果を示し、生産から流通現場において有効であると考えられた。

緑色系の葉茎菜において、色相角度は値が低下するほど収穫物の黄化が発生している傾向を示す（Cefola ら、2009）。微細孔 MA 以外の処理区において、「のらぼう菜」では、いずれも貯蔵 3 日から色相角度が有意に低下したが、アスパラガスでは、貯蔵 6 または 7 日から色相角度が有意に低くなったため（第 5-3 表）、「のらぼう菜」はアスパラガスに比べて早期に黄化の症状が発生しやすいものと考えられた。また、無包装との有意差で判断すると、「のらぼう菜」の慣行 PP では、貯蔵 7 日以外は黄化の発生程度の抑制効果が確認されなかったが、「のらぼう菜」の有孔 PE では、貯蔵 3～7 日において黄化の発生程度の抑制効果が確認された（第 5-3 表）。さらに、両品目の微細孔 MA において、「のらぼう菜」の貯蔵 7 日を除き、色相角度の貯蔵期間中の有意な低下が確認されなかったことから（第 5-3 表）、収穫日の新鮮な緑色がほぼ維持されたものとする。Cefola ら（2009）は、「のらぼう菜」と形態が類似した「Broccoli raab」（*Brassica rapa* L.）において、CA 貯蔵を行うことにより、色相角度が無包装に比べて高い値が維持されることを報告し、鈴木ら（2006）は、「ナバナ」において、クロロフィル含量は微細孔の MA が有孔の PP に比べて高く維持されたと報告している。アスパラガスにおいても、先行研究（Villanueva ら、2005）と同様の結果であったが、「の

らぼう菜」の早期における黄化の発生を抑止するという点では、微細孔 MA の効果は「のらぼう菜」がアスパラガスに比べて高いものと考えられた。

以上の結果、アスパラガスは野菜類のなかでも品質劣化が激しい品目とされている
2300 が（一丸・犬塚，2006）、「のらぼう菜」はアスパラガス以上に品質劣化が激しい品目に分類されるものと考えられた。また、呼吸量は両品目とも収穫日が最も高く（第 5-3 図）、Lill ら（1990）によると、アスパラガスの呼吸量は収穫から 2 時間後に最も高くなり、その後、24 時間後にかけて急速に減少すると報告している。「のらぼう菜」は、アスパラガスと同様、収穫日に呼吸のピークを示したことから、収穫直後から 24
2305 時間後までの呼吸量を低く抑制することが、「のらぼう菜」の品質劣化を抑える一つの方法として提案できる可能性がある。ところで、消費者が重視する品質劣化は外観によって主観的に評価されることが多い（大久保，1988）。アスパラガスの外観評価は、重量減少率のみと相関があったのに対し、「のらぼう菜」の外観評価は、呼吸量および水分率を除くすべての調査項目と相関があったことから（第 5-4 表）、「のらぼう菜」
2310 の外観品質には葉部の黄化や急速な重量減少が関係しているものと考えられた。そのため、これらを抑制する微細孔 MA は、「のらぼう菜」の外観品質の維持に繋がることから、「のらぼう菜」の生産から流通現場への利用において効果が高いものと考えられる。今後は「のらぼう菜」の貯蔵期間中の最適なガス組成の検討とそれに合わせた厳密な出荷規格の統一が必要である。

2315

第 6 章 総合考察

1. 日本国内の葉茎菜用セイヨウアブラナについて

セイヨウアブラナは、1870～80 年代に、スウェーデン王国、ドイツ連邦共和国およびアメリカ合衆国から日本に導入された (Ma ら, 2000) . 1930 年代からは、日本の温暖湿潤な栽培環境にセイヨウアブラナを適応させることを目的に、日本国内のアブラナ (*B. rapa*) 系統との計画的な交配育種が行われ、その際の育種計画では、政府主導により限られたセイヨウアブラナの系統が用いられた (Chen ら, 2017) . そのため、近年の研究 (Chen ら, 2017) から、日本国内のセイヨウアブラナの遺伝的な基盤の狭さが明らかになった. しかし、RAPD マーカー (Ma ら, 2000) または SSR マーカー (Chen ら, 2017) を用いた解析では、日本国内のセイヨウアブラナの系統は欧州の系統と異なる遺伝子型を示すことも明らかにされている. ところで、葉茎菜用セイヨウアブラナについては、いつ頃どのような経緯で日本の各地域に導入されたのか、もしくは葉茎菜として栽培され始めたのかは把握されておらず、不明な点が多い. また、興味深いことに、東京都あきる野市にある古文書には、葉茎菜用セイヨウアブラナである「のらぼう菜」に類似した「闇婆菜 (じゃばな)」と呼ばれる葉茎菜、もしくは油料として用いられた作物の種子が配られた記録が 1767 年に残っている (東京都あきる野市, 2014) . 「闇婆菜」は、「闇婆-」の部分がインドネシアのジャワ (闇婆) 島を示すことから、ジャワ島経由で由来したものと考えられている. 現在、東京都あきる野市を中心とする自治体は、「闇婆菜」が「のらぼう菜」の起源ではないかと提唱しているものの、「闇婆菜」が「のらぼう菜」であるかどうかは、科学的に明らかになっていない.

2. 「のらぼう菜」について

2340 本研究の第 1 章では，日本国内の農業生物資源ジーンバンクと市販品種，公的研究
機関，生産および流通現場から，葉茎菜用セイヨウアブラナを中心とする計 60 品種・
系統を収集し，SSR および SNP マーカーを用いた遺伝子解析を行った．収集した品
種・系統について，遺伝的距離に基づく UPGMA 系統樹の作成およびストラクチャー
解析を行った結果，一部の品種・系統が，同じ原産地もしくは品種・系統名により分
2345 類され，川崎市（グループ 1）と埼玉県および東京都（グループ 2）を原産とする 2 つ
の「のらぼう菜」の系統群が確認された（第 1-10 図）．そこで，SSR 解析の結果につ
いて，ほかの系統群としてグループ化されたグループ 3～5 を含め，系統群ごとに対立
遺伝子のデータをまとめた．それらのデータについて，POPTREE2 ソフトウェア
（Takezaki ら，2009）を用い，遺伝的距離の算出と，1,000 回繰り返し計算によるブー
2350 トストラップ値の算出および UPGMA 系統樹の作成を行った．その結果，グループ 1
および 2 は，ほかの 3 系統群からブートストラップ値 100 で分かれ，グループ 1 と 2
も，ブートストラップ値 52 で分かれた（第 6-1 図）．次に，第 2 章では，SSR 解析に
より，生産および流通現場における「のらぼう菜」の遺伝子型を解析した結果，第 1
章の結果と同様に，「かき菜」のグループ 3 と「のらぼう菜」を中心に構成されたグ
2355 ループ 1 および 2 はブートストラップ値 100 で分かれ，「のらぼう菜」を中心に構成
された集団内においても，埼玉県および東京都を中心とする「のらぼう菜」系統群の
グループ 1 と，川崎市の「のらぼう菜」系統群のグループ 2 が，ブートストラップ値
58 で分かれた（第 2-5 図）．以上から，「のらぼう菜」は，在来種として栃木県およ
び群馬県で栽培されている「かき菜」などとは，遺伝的に異なるものと考えられた．
2360 さらに，第 6-1 図の結果からも，「のらぼう菜」の集団内において，グループ 2 に含
まれ，埼玉県および東京都を原産とする「のらぼう菜」の系統群と，グループ 1 に含

まれ、川崎市を原産とする「のらぼう菜」の系統群は、遺伝的に異なるものと考えられた。

また、本研究では、表現型の調査も併せて行った。第1章において、葉茎菜用セイヨ
2365 ウアブラナのグループ1~4の系統群の表現型は、*B. rapa*の系統群の表現型とは顕著に
異なった（第1-16表，第1-11図）。農林水産省の分類において、*B. rapa*の葉茎菜は花
蕾タイプ，葉茎菜用セイヨウアブラナはおもに茎葉タイプに分類され（農林水産省，
2014），花蕾タイプは結束および包装紙を巻いて出荷するのに対し（西村，2004），
葉茎タイプは袋詰めによって出荷するなど（高橋，2005），生産および流通現場にお
2370 ける収穫後の調製方法が異なり，一般的に形態形質の違いが認知されている。しかし，
主成分分析による散布図（第1-11図）で確認されたように，葉茎菜用セイヨウアブラ
ナの系統群内における違いは，*B. rapa*の系統群と葉茎菜用セイヨウアブラナの系統群
との違いほど顕著ではなかった。そのため，生産現場においては，同じ葉茎菜用セイ
ヨウアブラナである在来種の「かき菜」と「のらぼう菜」の形態形質の違いなどは一
2375 般的に認知されておらず，明確になっていない。第1章において，株および花茎の形態
形質を，遺伝子型で分類された系統群間で比較したところ，グループ4の「宮内菜」と
「かき菜」の系統群は，抽苔性が遅い傾向を示した。加えて，株の葉に顕著な光沢が
ある品種・系統を含む，葉先が長めの葉形，花茎の重い重量，大きな葉部，太めの茎，
薄い着色などの特徴的な形質を示した。一方で，グループ1および2の「のらぼう菜」
2380 の系統群は，「宮内菜」と「かき菜」の系統群に比べて抽苔性が早い傾向を示したも
のの，調査に用いた農林水産省のアブラナの特別審査基準（[http://www.hinshu2.maff.g
o.jp/info/sinsakijun/kijun/1121.pdf](http://www.hinshu2.maff.go.jp/info/sinsakijun/kijun/1121.pdf)）では晩生を示した。加えて，株の葉に顕著な光沢や
着色などはなく，販売物の状態に近い花茎の調製後の葉部の割合はやや少なく，葉面
の毛じおよび顕著な光沢は見られなかった。以上の結果から，「のらぼう菜」の系統

2385 群と、「宮内菜」および「かき菜」の系統群の間には、表現型のレベルにおいても、
違いがあるものと考えられる。

グループ1および2からなる「のらぼう菜」の系統群内の表現型において、第1章、
第2章ともに、収穫部位となる花茎を測定したものの、第1章ではおもに3月収穫の
1次側枝を、第2章では4月収穫の販売物を対象に調査を行ったため、供試材料の収
2390 穫時期が異なった。しかし、第1章と第2章で共通した結果を中心にまとめると、埼
玉県および東京都を原産とする「のらぼう菜」の系統群は、川崎市を原産とする「の
らぼう菜」の系統群に比べて、成熟の速度がやや遅く、収穫期の後半（4月）には葉部
がやや大きい特徴を持つものと考えられた。成熟の速度がやや遅い特徴については、
北浦ら（2004）の結果を支持した。一方、川崎市を原産とする「のらぼう菜」の系統
2395 群は、埼玉県および東京都を原産とする「のらぼう菜」の系統群に比べて、成熟がや
や早く、収穫期の後半（4月）には葉が少なくなり、花茎にはやや淡い発色を生じる
形質を持つものと考えられた。成熟がやや早い特徴についても、北浦ら（2004）の結
果を支持した。

以上から、「のらぼう菜」は、遺伝的に埼玉県および東京都を原産とするものと川
2400 崎市を原産とするものの2つの系統群に分かれ、農林水産省の特別審査基準における
アブラナの分類（<http://www.hinshu2.maff.go.jp/info/sinsakijun/kijun/1121.pdf>）では晩生
を示し、株の葉の顕著な光沢や着色、花茎の葉における毛じの発生などの形質が見ら
れない葉茎菜用セイヨウアブラナであると考えられた。

2405 3. 「のらぼう菜」の現状

生産および流通現場における「のらぼう菜」の品質を調査した結果から、「のらば
う菜」の時期別による花茎の形態の変化が販売形態に大きく影響を及ぼし、地域や生
産者ごとに出荷物の形態が異なり、ばらつきが大きいことが明らかになった。また、

花茎の内容成分や茎の硬さなどを評価した品質も、時期別に異なることが明らかになり、項目によっては地域や生産者ごとに異なることが確認された。第3章の「のらぼう菜」の成分分析によって、アスコルビン酸が葉部に多く含まれ、収穫の後期に移行するに従って増加することが示されたことは、「のらぼう菜」の品質を示す新たな知見の一つである。「のらぼう菜」は、ほかの葉茎菜類に比べて糖度が高く、アスコルビン酸が多いという特徴があることから、生産拡大には、収穫物の品質を統一するためにも、高品質多収系統の選抜とその栽培技術を確立することが望まれる。そこで本研究では、栽培法の確立のアプローチから、第1章で特徴づけられたグループ1の川崎市を原産とし、古くから在来する「のらぼう菜」の系統を用いて、栽培管理の違いが収量および品質に及ぼす影響について調査を行った。

2420 4. 「のらぼう菜」の高品質安定栽培法について

第4章第1節の結果から、川崎市在来「のらぼう菜」系統（以下、‘川崎 No.6’）の主茎の摘心処理で収量を減少させない方法として、抽苔開始期に主茎を摘心すること、平均1本重が重い花茎を生産する技術として、強い強度で主茎を摘心することが明らかになった。しかし、強い強度で摘心した場合、平均1本重の増加が確認されるのは収穫の前期のみであったことから、強い強度の摘心を行っても収量が下がらず、収穫の中期以降でも平均1本重が重い花茎を生産できる栽培法を検討する必要性が考えられた。そこで、‘川崎 No.6’の栽培管理として、主茎の摘心処理の次に必要な側枝の切り戻し処理について、第4章第2節で研究を行った。その結果、‘川崎 No.6’の平均1本重を増加させるには、切り戻しを行うことが有効であり、さらに、切り戻しの強度を変えることによって、収量と品質（平均1本重）が変化することも明らかになった。

以上から，‘川崎 No. 6’は，主茎の摘心強度を強めることで，収穫の前期に太ものが収穫でき，その後に側枝の切り戻し処理を行うことで，収穫の中期および後期に平均 1 本重を維持できるものと考えられた．それらの栽培技術は，生産現場において「のらぼう菜」の品質を統一させ，高品質安定栽培に関わる栽培技術であると考えられた．

2435 しかし，側枝の切り戻し処理は，強度を強くするに従って，平均 1 本重が重くなるメリットがある一方，同時に減収する傾向があるため，側枝の切り戻しの強度（方法）は，栽培管理中の施肥量や株の生育状況（定植した時期の影響）などに合わせて調節する必要がある．そのため，今後の課題として，養分吸収特性の解析（長野県，2011）

2440 や定植時期の検討，受光量の解析（井上ら，2008）などを行うことにより，総合的に‘川崎 No. 6’の栽培法を検討していく必要がある．

5. 「のらぼう菜」の鮮度保持法

第 5 章の結果から，アスパラガスは野菜類のなかでも品質劣化が激しい品目とされているが（一丸・犬塚，2006），「のらぼう菜」はアスパラガス以上に品質劣化が激しい品目に分類されるものと考えられた．消費者が重視する品質劣化は，外観によって主観的に評価されることが多く（大久保，1988），外観品質の維持は，鮮度保持の研究におけるおもな分析対象となる（柘植ら，2017）．「のらぼう菜」の外観評価は，呼吸量および水分率を除くすべての調査項目と相関があったことから，「のらぼう菜」の外観品質には葉部の黄化や急速な重量減少などが関係しているものと考えられた．

2450 そのため，これらを抑制する微細孔 MA は，「のらぼう菜」の外観品質の維持に繋がることから，「のらぼう菜」の生産から流通現場への利用において効果が高いものと考えられる．*B. rapa* の葉茎菜を含む花蕾タイプの鮮度保持においては，MA 包装内の適度なガス濃度の検討などが行われており（鈴木ら，2006），流通現場においても，花蕾タイプへの MA 包装の利用が見受けられる．

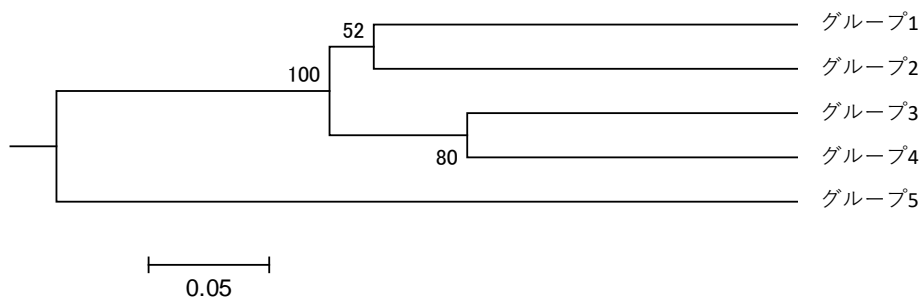
2455 そのため，今後は，葉茎タイプである「のら

ぼう菜」の貯蔵期間中の最適なガス組成の検討とそれに合わせた厳密な出荷規格の統一が課題である。

6. まとめ

2460 本研究より，日本国内の葉茎菜用セイヨウアブラナは，一部の系統から，地域在来の系統群が確認され，そのうちの「のらぼう菜」は，埼玉県および東京都と川崎市では別の系統群を構成することが明らかになった。また，川崎市で栽培されている‘川崎 No. 6’は，主茎の摘心強度を強め，その後に側枝の切り戻し処理を行うことで，品質の優れた花茎を生産できることが明らかになり，収穫物を微細孔 MA で貯蔵すること
2465 とで，「のらぼう菜」の品質が維持されることが明らかになった。

今後は，「のらぼう菜」の形態形質を詳細に特徴付けるため，さらなる形態調査を，栽培年の違いを含む複数の栽培環境で，側枝の発生特性などの調査項目を増やして検討する必要があり，「のらぼう菜」の栽培法を一般化させるには，ほかのアブラナ属の葉茎菜でも解明されているように養分吸収特性を明らかにし，施肥方法や定植まで
2470 の管理などの作型に関する研究をさらに調査する必要がある。



2475

第 6-1 図 第 1 章の第 1-10 図で確認された系統群(グループ 1~5)における遺伝的な類縁関係(SSR 解析結果に基づく UPGMA 系統樹) POPTREE2 ソフトウェアを用いて作成した
 系統樹の節における数値は 1,000 反復によるブートストラップ値を示す
 欠損率の高いマーカーが計算から除外されたため、欠損率の高いマーカーが多かった *B. rapa* は解析対象から外した

摘 要

アブラナ科アブラナ属の植物は、農業において重要な資源植物である。キャベツやハクサイ、ブロッコリーなどに代表される野菜類のほか、油料種子や香辛料などとして利用される。アブラナ属の植物に含まれるセイヨウアブラナ (*Brassica napus* L.) は、カブなどが属する *B. rapa* L. (AA, $2n=20$) と、キャベツなどが属する *B. oleracea* L. (CC, $2n=18$) から由来する 2 つの二倍体のゲノムを持ち、複二倍体で構成されている (AACC, $2n=4x=38$)。セイヨウアブラナは、油料種子の生産が主体であるなか、野菜類において、葉、茎および花を利用する葉茎菜が生産の対象となっている。しかし、葉茎菜として利用されるセイヨウアブラナは、学術的な研究報告が少なく、日本国内の研究事例はほとんど見当たらない。そのため、葉茎菜用セイヨウアブラナは、「野菜園芸学」の分野の品目のなかでも研究課題が多い品目である。

葉茎菜用セイヨウアブラナである在来種の「のらぼう菜」は、春季の重要な伝統野菜として、関東地方で栽培されている。「のらぼう菜」は、生産量の多い花蕾タイプのような苦味やくせなどが無いことが特徴であり、食味が優れ、地域の消費者からの支持が高い。しかし、地域および生産者により、使用する品種・系統や栽培方法などが異なることから、地域によっては販売物の形態や品質などにばらつきが見られ、市場価格が比較的低い。そのため、「のらぼう菜」は、生産規模がアブラナ属の葉茎菜のなかでも小さく、生産から流通にかけての課題が多い。

本研究では、日本国内の葉茎菜用セイヨウアブラナの遺伝的多様性を解明するとともに、関東地方の在来種「のらぼう菜」についての遺伝的多様性、品質、栽培法および鮮度保持方法を明らかにすることを目的として研究を行った。

各章について、セイヨウアブラナは、油料作物としての利用が多いなか、葉茎菜として利用される品種・系統が存在する。第 1 章では、日本国内における葉茎菜用セイヨウアブラナの遺伝的多様性を明らかにすることを目的に、SSR (simple sequence

repeat) および SNP (single nucleotide polymorphism) マーカーに基づく遺伝子解析および表現型の分析を行った。日本国内の農業生物資源ジーンバンクと種苗会社、行政機関、生産および流通現場から、葉茎菜用セイヨウアブラナを中心とする計 66 系統を収集した。収集した系統について、遺伝的距離に基づく UPGMA 系統樹の作成およびストラクチャー解析を行った結果、一部の系統が、同じ原産地もしくは系統名により分類された。それらの系統から、SSR、SNP 解析ともに、共通した分類を示した系統について、類縁関係をまとめた結果、グループ 1~5 までの計 5 つの系統群が確認された。確認された系統群は、神奈川県川崎市（以下、川崎市）を原産とする「のらぼう菜」の系統群（グループ 1）、埼玉県および東京都を原産とする「のらぼう菜」の系統群（グループ 2）、各系統の原産および系統名が異なるものの、成熟が早い傾向を示した系統群（グループ 3）、栃木県および群馬県を原産とする「宮内菜」と「かき菜」の系統群（グループ 4）および福島県を原産とする「かぶれ菜」などを含む系統群（グループ 5）であった。以上から、日本国内の葉茎菜用セイヨウアブラナは、地域に在来し、古くから栽培されている在来種の集団と、商業的な生産に有用な成熟の早い形質を持つ集団が存在するものと考えられた。

セイヨウアブラナは、世界で重要な油料作物のうちの一つである。関東地方では、一般的に「のらぼう菜」と呼ばれる葉茎菜用セイヨウアブラナの在来種が栽培されており、その花茎が食されている。第 2 章では、「のらぼう菜」の多様性を遺伝子型および表現型のレベルで明らかにすることを試みた。供試サンプルは、関東地方の異なる 4 つの地域から収集し、ほかの葉茎菜の在来種である「かき菜」およびコマツナ (*B. rapa*) もサンプルに含めた。表現型は、花茎における 6 つの形態形質および 5 つの含有成分の項目を分析して評価した。主成分分析およびクラスター分析を、「のらぼう菜」および「かき菜」からなる 20 種類のサンプルに対して行った結果、サンプルは 3 つのクラスターに分けられた。SSR マーカーを計 24 個用いて遺伝子解析を行い、Nei

2525 の遺伝距離と近隣結合（NJ）法により系統樹を作成した結果，23種類のサンプルが3
つの遺伝子型グループとコマツナに分類された．そのうちの遺伝子型グループ 1b は，
最も多くの「のらぼう菜」のサンプルを含み，「のらぼう菜」のサンプルのうち，遺
伝的に近かった2種類のサンプル間に最大の地理的距離が確認された．以上の結果か
ら，（1）関東地方の「のらぼう菜」の集団は表現型が多様であり，（2）「のらぼう
2530 菜」の集団全体は遺伝的に均一ではなく，遺伝子型が異なる亜集団から構成され，そ
れらには地理的分化が見られないものと考えられた．

「のらぼう菜」は，関東地方における伝統野菜である．生産現場では，自家採種や
生産者ごとの栽培方法が異なることによる販売物の品質のばらつきが問題とされてい
る．そこで第3章では，「のらぼう菜」の販売物の形態や花茎の硬さなどを含めた品質
2535 を時期別および地域別に比較し，「のらぼう菜」の地域間差（均一性）を調べた．そ
の結果，時期別による花茎の形態の変化が販売物の形態に大きく影響を及ぼし，地域
や生産者ごとに出荷物の形態が異なり，ばらつきの大きいことが明らかになった．ま
た，花茎の内容成分や茎の硬さなどを評価した品質においても，時期別に異なること
が明らかになり，項目によっては地域や生産者ごとに異なることが確認された．「の
2540 らぼう菜」は，ほかの茎葉菜類に比べて糖度が高く，アスコルビン酸が多いという特
徴があることから，生産拡大のためには，高品質多収系統の選抜とその栽培技術の確
立が望まれる．

川崎市に在来する「のらぼう菜」は，株の主茎を始めに摘心し，その後次々と発生
する側枝部位の花茎を収穫する．しかし，主茎の摘心処理は，川崎市在来「のらぼう
2545 菜」系統（以下，‘川崎 No. 6’）で詳細が明らかになっていない．第4章第1節で
は，‘川崎 No. 6’の主茎の摘心処理について，収穫期における試験を4年間にわたっ
て行い，主茎の摘心時期および摘心強度の違いが収量と花茎の品質に及ぼす影響を解
析した．主茎の摘心時期を未熟期，抽苔開始期および出蕾期の3処理区で検討した結

果，抽苔開始期は，収穫本数，総花茎重，積算地上部重および可販収量がほかの摘心
2550 時期に比べて高く，抽苔開始期が適切な主茎の摘心時期であると考えられた．また，
主茎の摘心強度を弱と強(それぞれ株の4分の1および2分の1程度の本葉数を除去)
の2処理区で，適切な摘心時期と考えられた抽苔開始期に検討した結果，強い強度の
摘心は，積算地上部重が，2017年に弱い強度の摘心に比べて低かったものの，半分以上
2555 以上の試験年で有意差が認められなかった．さらに，強い強度の摘心は，収穫の前期に
おける平均1本重が，弱い強度の摘心に比べて重かった．強い強度の摘心では，平均
1本重の増加が収穫の中期および後期に確認されなかったことから，収穫の中期以降
でも平均1本重が重い花茎を生産できる栽培法を検討する必要性が考えられた．

第4章第1節での課題を受けて，第4章第2節では，‘川崎 No. 6’の平均1本重に
影響を及ぼしていると考えられる側枝の切り戻しについて，‘川崎 No. 6’における側
2560 枝の切り戻しの有無および強度の違いが収量と花茎の品質に及ぼす影響を解析した．
切り戻しの有無の検討では，切り戻しを行った区で，可販収量および収穫本数は減つ
たものの，平均1本重は重くなった．また，時期別の平均1本重では，切り戻しを行
った区で，中期，後期ともに重くなる傾向であった．切り戻しの強度の検討では，二
元配置分散分析の結果，切り戻しの強度を変えることによって，収量および品質が変
2565 化した．また，切り戻しの強度を強くするに従って，収穫本数，株重および可販収量
が減った．切り戻しの強度は，強くするに従って，平均1本重が重くなる傾向があっ
たものの，同時に減収する傾向もあったため，今後は，養分吸収特性の解析や定植時
期の検討などを行うことにより，‘川崎 No. 6’の栽培法を総合的に研究していく必要
がある．

2570 「のらぼう菜」は，優れた食味と調理の用途の多様性から地域消費者の支持が高く，
今後の流通拡大が期待される．しかし，日持ち性の悪さと外観品質の早期劣化が問題
であり，包装資材を用いた適切な出荷形態を検討する必要がある．第5章では，基礎

研究が充実しているアスパラガス (*Asparagus officinalis* L.) を対照品目として、数種の包装資材が、「のらぼう菜」の貯蔵後の品質に与える影響について調査した。ガス組成の調整機能がある微細孔 MA、有孔フィルム包装の有孔 PE、「のらぼう菜」の慣行資材を用いた袋詰め包装（慣行 PP）および包装なし（無包装）を 25℃条件下で 7 日間貯蔵し、呼吸量、重量減少率、水分率、糖度、外観評価および色相角度を分析した。その結果、「のらぼう菜」の呼吸量はアスパラガスに比べて顕著に多く、品質劣化の発生が早かった。微細孔 MA は、「のらぼう菜」の重量減少率の抑制と、水分率、高い外観評価および色相角度を維持し、流通現場において効果が高いものと考えられた。

本研究より、日本国内の葉茎菜用セイヨウアブラナは、一部の系統から、地域在来の系統群が確認され、そのうちの「のらぼう菜」は、埼玉県および東京都と川崎市では別の集団を構成することが明らかになった。また、川崎市で栽培されている‘川崎 No.6’は、主茎の摘心強度を強め、その後に側枝の切り戻し処理を行うことで、品質の優れた花茎を生産できることが明らかになり、収穫物を微細孔 MA で貯蔵することで、「のらぼう菜」の品質が維持されることが明らかになった。

謝 辞

本研究の遂行ならびに本論文のとりまとめに当たり、ご指導およびご鞭撻を賜りました、明治大学農学部教授 半田 高先生、同学部准教授 元木 悟先生、筑波大学生命環境系准教授 吉岡洋輔先生に心より感謝の意を表します。さらに、本論文のとりまとめおよび審査に関しまして、ご助言をいただくとともに細部にわたりご指摘をいただきました、明治大学農学部教授 玉置雅彦先生に心より感謝の意を表します。

本研究の遂行に当たり、筑波大学生命環境系教授 大澤 良先生には、貴重なご助言をいただきました。心より御礼申し上げます。第1章および第2章は、筑波大学 植物育種学研究室との共同研究により実施されました。実験および解析におきまして、懇切丁寧なご指導を賜りました、筑波大学 植物育種学研究室の陳 蕤坤先生および同研究室の西 典子氏に、この場をお借りして厚く御礼申し上げます。また、第1章は、公益財団法人 かずさDNA研究所との共同研究により行われました。次世代シーケンサーによる遺伝子解析を行っていただきました、公益財団法人 かずさDNA研究所の磯部祥子氏および同機関の白澤健太氏に、この場をお借りして御礼を申し上げます。

学外の生産および流通現場におきましては、本研究を遂行するに当たり、「菅のらぼう保存会」会長の高橋孝次氏には、川崎市在来「のらぼう菜」系統における詳細かつ歴史的な背景の情報から種苗のご提供、栽培に関するご指導をいただきました。第4章に関する内容につきましては、同氏を中心とした川崎市在来「のらぼう菜」系統の継承が基となり、遂行に至ったことは明らかです。この場をお借りして深く感謝の意を表します。本研究の遂行に当り、本研究の開始時に川崎市農業振興センター農業振興課振興係長であった米川源人氏、川崎市農業技術支援センターの古山和弘氏および岩淵裕樹氏、本研究開始時に同センターに所属されていた久延一郎氏および小川真美氏には多大なるご協力をいただきました。この場をお借りして感謝の意を表します。

第1章では、資料などの情報のご提供および種子の収集にご協力いただきました、栃木

県佐野市の大谷晴美氏に，この場をお借りして御礼を申し上げます．第1章および第2章では，資料などの情報および種子をご提供いただきました，埼玉県比企郡嵐山町の大野敏行氏に，この場をお借りして御礼を申し上げます．

2615

また，本研究の一部は，2017年度明治大学若手研究および2018～2019年度の（公財）東急財団の「多摩川およびその流域の環境浄化に関する基礎研究，応用研究，環境改善計画のための研究・活動助成」の助成を受けて実施されました．

最後に，本研究の遂行に当たって，実験に携わっていただいた野菜園芸学研究室の
2620 皆さま，ご助言をいただきました花卉園芸学研究室の先輩方，活動の支えとなった家族に，この場を借りて深く感謝の意を表します．

引用文献

- 阿部一博. 1994. 数種軟弱野菜の予冷温度と時間ならびに貯蔵に伴う品質変化. 日食
2625 保蔵誌. 20 : 121-126.
- 阿部希望. 2015. 伝統野菜をつくった人々 「種子屋」の近代史. p. 1-2, 12-13. 農文
協. 東京.
- 相田功友. 1994. 自家用として古くから栽培されていた特産野菜 東京都西多摩郡五日
市町の「のらぼう菜」生産. 農耕と園芸. 49 (2) : 152-155.
- 2630 青葉 高. 2001. ツケナ類=植物としての特性. 基 p.10-11. 農業技術大系野菜編 7 キ
ャベツ・ハクサイ・ホウレンソウ・ツケナ類・シュンギク・チンゲンサイ・タア
サイ・ナバナ類・ミズナ・ミブナ. 農文協. 東京.
- 青葉 高. 2013. III. 葉菜類. p. 11-12, 162-176. 日本の野菜文化史事典. 八坂書房.
東京.
- 2635 浅尾浩史・杵本哲史・西本登志. 2013. 生育時期が F₁ 大和マナ品種の糖含量とアンジ
オテンシン I 変換酵素 (ACE) 阻害活性に及ぼす影響. 奈良農総セ研報. 44: 7-12.
- Balkaya, A., R. Yanmaz, A. Apaydin and H. Kar. 2005. Morphological characterisation of
white head cabbage (*Brassica oleracea* var. *capitata* subvar. *alba*) genotypes in Turkey.
New Zeal. J. Crop Hort. 33: 333-341.
- 2640 Basak, M., Uzun B. and E. Yol. 2019. Genetic diversity and population structure of the
Mediterranean sesame core collection with use of genome-wide SNPs developed by
double digest RAD-Seq. PLoS ONE 14: e0223757.
- Bird, K. A., H. An, E. Gazave, M. A. Gore, J. C. Pires, L. D. Robertson and J. A. Labate. 2017.
Population structure and phylogenetic relationships in a diverse panel of *Brassica rapa*
2645 L. Front. Plant Sci. 8: 321.
- Cartea, M. E., P. Soengas, A. Picoaga and A. Ordás. 2005. Relationships among *Brassica*

- napus* (L.) germplasm from Spain and Great Britain as determined by RAPD markers.
Genet. Resour. Crop Evol. 52: 655–662.
- 2650 Cefola, M., M. L. Amodio, R. Cornacchia, R. Rinaldi, S. Vanadia and G. Colelli. 2009. Effect
of atmosphere composition on the quality of ready-to-use broccoli raab (*Brassica rapa*
L.). J. Sci. food Agr. 90: 789–797.
- Chalhoub, B., F. Denoeud, S. Liu, I. P. Parkin, H. Tang and X. Wang. 2014. Early allopolyploid
evolution in the post-Neolithic *Brassica napus* oilseed genome. Science 345:950–953.
- 2655 Chen, R., T. Hara, R. Ohsawa and Y. Yoshioka. 2017. Analysis of genetic diversity of rapeseed
genetic resources in Japan and core collection construction. Breeding Sci. 67: 239–247.
- 知野秀次・松本辰也・児島清秀. 2015. セイヨウナシ‘越さやか’におけるフィルム包装
および収穫後処理が果実追熟に及ぼす影響. 園学研. 14 : 291-296.
- Earl, D. and B. vonHoldt. 2012. STRUCTURE HARVESTER: a website and program for
visualizing STRUCTURE output and implementing the Evanno method. Conserv. Genet.
2660 Resour. 4: 359–361.
- 江頭宏昌. 2013. 「在来種作物」の再評価と利用-山形在来作物研究会と周辺の取り組み
から-. p. 112–113. 西川芳昭編著. 種から種へつなぐ. 創森社. 東京.
- Endelman, J. B. and J. L. Jannink. 2012. Shrinkage Estimation of the Realized Relationship
Matrix. G3-Genes Genom Genet. 2: 1405–1413.
- 2665 Evanno, G., S. Regnaut and J. Goudet. 2005. Detecting the number of clusters of individuals
using the software STRUCTURE: a simulation study. Mol. Ecol. 14: 2611–2620.
- Felsenstein, J. 1989. PHYLIP-Phylogeny Inference Package (version 3.2). Cladistics 5: 164–
166.
- 福地信彦・本居聡子・宇田川雄二. 2004. 摘果および整枝がトマトの果実糖度と収量
2670 に及ぼす影響. 園学研. 3: 277–281.

- Gao, C., J. Yin, A. S. Mason, Z. Tang, X. Ren, C. Li, Z. An, D. Fu and J. Li. 2014. Regularities in simple sequence repeat variations induced by a cross of resynthesized *Brassica napus* and natural *Brassica napus*. *Plant Omics J.* 7: 35–46.
- 2675 Glaubitz, J., T. M. Casstevens, F. Lu, J. Harriman, R. J. Elshire, Q. Sun and E. S. Buckler. 2014. TASSEL-GBS: A high capacity genotyping by sequencing analysis pipeline. *PLoS One* 9: e90346.
- Guo, S., X. Zhang, D. Zeng, M. Zhang, Y. Niu, L. Wang and Y. Liu. 2016. Genetic diversity of resynthesized *Brassica napus* lines from SW China assessed by main agronomic traits and SSR markers in comparison with common *B. napus* lines. *Euphytica* 207: 95–108.
- 2680 波部一平・土井香織. 2015. MA 包装貯蔵を主体としたブロッコリーの鮮度保持. 長崎農林技セ研報. 2 : 97-118.
- Hanson, P., R. Yang, L. Chang, L. Ledesma and D. Ledesma. 2009. Contents of carotenoids, ascorbic acid, minerals and total glucosinolates in leafy brassica pakchoi (*Brassica rapa* L. *chinensis*) as affected by season and variety. *J. Sci. Food Agr.* 89: 906–914.
- 2685 Harper, F. R. and B. Berkenkamp. 1975. Revised growth-stage key for *Brassica campestris* and *B. napus*. *Can. J. Plant Sci.* 55: 657–658.
- Hasan, M., F. Seyis, A. G. Badani, J. Pons-Kühnemann, W. Friedt, W. Lühs and R. J. Snowdon. 2006. Analysis of genetic diversity in the *Brassica napus* L. gene pool using SSR markers. *Genet. Resour. Crop Evol.* 53: 793–802.
- 2690 長谷川美典. 2001. MA 包装. p. 貯蔵～加工 24 の 3 の 2-9. 農業技術大系果樹編 8 共通技術. 農文協. 東京.
- Herner, R. C. 1990. Factors affecting fiber content of asparagus. *Lakes Veg. Growers News.* 3: 14-15.
- 東尾久雄・南出隆久・緒方邦安. 1980. 高濃度炭酸ガス短期間処理による青果物の品

- 2695 質保持効果. 日食工誌. 27: 192-198.
- 樋口洋子・柘植一希・北條怜子・元木 悟. 2015. 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.
- 日坂弘行. ホウレンソウの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. 日食工誌. 36: 956-963.
- 2700 細田 浩. 1989. 分析検査. p. 品質・鮮度 41-47. 農業技術大系野菜編 12 共通技術・先端技術. 農文協. 東京.
- 一丸禎樹・犬塚和男. 2006. 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.
- 2705 飯野 師・澁澤 栄・岡山 毅・梅田大樹・小島陽一郎・小平正和. 2010. 長ネギの内部品質評価方法とその変動. 農業機械学会誌. 72: 333-338.
- 池田順子. 2010. のらぼう菜の栄養・食味特性と加工利用. 農耕と園芸. 65: 56-59.
- 池田順子・増山富美子. 2009. のらぼう菜の栄養・食味特性と加工利用. 埼玉農林総研セ研報. 9: 42-45.
- 2710 井上勝広・重松 武・尾崎行生. 2008. アスパラガスの半促成長期どり栽培の収量に及ぼす地上茎の誘引と二次分枝の除去期間の影響. 園学研. 7: 91-95.
- 石井 勝. 1998. なばな. p. 131-133. 酒寄直樹編著. 野菜の鮮度保持マニュアル. 流通システム研究センター. 東京.
- 石田正彦. 2004. ナバナの作型と品種. p. 基 13-20. 農業技術大系野菜編 7 キャベツ・ハクサイ・ホウレンソウ・ツケナ類・シュンギク・チンゲンサイ・タアサイ・ナバナ類・ミズナ・ミブナ. 農文協. 東京.
- 2715 石谷孝佑. 1989. 包装資材の利用. p. 品質・鮮度 243-247. 農業技術大系野菜編 12 共通技術・先端技術. 農文協. 東京.

- 伊藤和彦・樋元淳一・李 里特・都 利平. 1992. 各種フィルムを用いたグリーンア
2720 スパラガスの包装貯蔵. 日食低温保蔵誌. 18: 10-16.
- 貝塚隆史. 2009. コマツナ (*Brassica campestris* L.) の植物体内における硝酸態窒素の
集積と低減に関する研究. 茨城農総セ園研報. 3: 1-53.
- 香川芳子. 2005. 五訂増補食品成分表. p.72-73, 80-81. 女子栄養大学出版部. 東京.
- Kalinowski, S. T., M. L. Taper and T. C. Marshall. 2007. Revising how the computer program
2725 CERVUS accommodates genotyping error increases success in paternity assignment. *Mol.*
Ecol. 16: 1099-1106.
- 加藤千明・石山玲子・北村利夫・福島忠昭. 1983. 青果物の収穫後の蒸散作用に関す
る研究—第 I 報— 数種のそ菜の蒸散量. 山形大紀要 (農学). 9: 235-248.
- 加藤伊知郎・片本 格・松木保雄. 1999. ナバナ新品種「瀬戸の春」の育成. 香川農
2730 試研報. 51: 17-22.
- 川崎市経済労働局. 2012. 農業技術支援センター試験研究等実績概要 平成 20-23 年.
川崎市公式ホームページ.
<<http://www.city.kawasaki.jp/shisetsu/category/46-4-14-0-0-0-0-0-0-0.html>>.
- 川崎市経済労働局. 2015. 川崎市農業技術支援センターにおける知的財産ポリシーの
2735 制定と「のらぼう菜」に関する共同研究契約の締結について. 川崎市公式ホーム
ページ.
<<http://www.city.kawasaki.jp/170/cmsfiles/contents/0000067/67063/150507-2.pdf>>.
- 菊地淑子. 2003. 雨よけほうれんそう生体中硝酸含量の小型反射式光度計を用いた分
析法. 東北農研成果情報. 7: 227-228.
- 2740 北浦健生・河田隆弘・北 宜裕. 2004. のらぼう菜の連続収穫体系の確立に向けた在
来系統の評価. 平成 15 年度神奈川農総研試験研究成績書 (野菜). p. 35-36.
- 北浦健生・河田隆弘・北 宜裕. 2006. のらぼう菜川崎在来系統は早生性を特徴とす

る洋種ナタネである。平成 17 年度関東東海北陸農業研究成果情報。

<http://www.naro.affrc.go.jp/org/narc/seika/kanto17/07/17_07_18.html>.

2745 小寺孝治. 1988. ブロッコリーの摘心による 2 花蕾どり栽培技術に関する研究. 東京農試研報. 21: 1-14.

古賀 武・下村克己・井上恵子・浜地勇次. 2015. 側枝整枝法の違いが単位結果性ナス‘省太’の生育および収量に及ぼす影響. 園学研. 14: 191-195.

Langmead, B. and S. L. Salzberg. 2012. Fast gapped-read alignment with Bowtie 2. Nat
2750 Methods 9: 357-359.

Langella, O. 1999. Populations, 1.2.32. <<http://bioinformatics.org/~tryphon/populations/>>.

Li, H., B. Handsaker, A. Wysoker, T. Fennell, J. Ruan, N. Homer, G. Marth, G. Abecasis and R. Durbin. 2009. The Sequence Alignment/Map format and SAMtools. Bioinformatics 27: 2078-2079.

2755 Lill, R. E., G. A. King and E. M. O'Donoghue. 1990. Physiological changes in asparagus spears immediately after harvest. Sci. Hortic. 44: 191-199.

Lischer H. E. L. and L. Excoffier. 2012. PGDSpider: An automated data conversion tool for connecting population genetics and genomics programs. Bioinformatics. 28: 298-299.

Liu, H. 1985. Rapeseed genetics and breeding. p. 556-559. Shanghai Science and Technology
2760 Press, Shanghai, China.

Liu, K. and S. Muse. 2005. PowerMarker: integrated analysis environment for genetic marker data.

Ma, C., Y. Kimura, H. Fujimoto, T. Sakai, J. Imamura and T. Fu. 2000. Genetic diversity of Chinese and Japanese rapeseed (*Brassica napus* L.) varieties detected by RAPD markers.
2765 Breeding Sci. 50: 257-265.

Mazzeo, R., A. Morgese, G. Sonnante, D. L. Zuluaga, S. Pavan, L. Ricciardi and C. Lotti.

2019. Genetic Diversity in broccoli rabe (*Brassica rapa* L. subsp. *sylvestris* (L.) Janch.) from Southern Italy. *Scientia Hort.* 253: 140–146.

- 2770 眞田松吉・鏡 勇吉. 1999. キリンビールのアグロバイオ事業と育種開発. 育学研. 1: 59.
- 政岡由紀・宮崎清宏・松本久美. 2014. アスパラガスの鮮度保持に及ぼす収穫後管理の影響. 高知農技セ研報. 23 : 25–32.
- 政岡由紀・宮崎清宏・斎藤格久・濱田朋江. 2016. スーパーパーシャル包装がナバナの品質保持に及ぼす影響. 高知農技セ研報. 25 : 21–27.
- 2775 南出隆久. 青果物の品質保持とストレス. 1985. 食品と低温. 11 : 101–107.
- 元木 悟. 2003. アスパラガスの作業便利帳. 株づくりと長期多収のポイント. p. 130–132, 152. 農文協. 東京.
- 元木 悟・北澤裕明・酒井浩晃・松島憲一・瀧渦康範. 2012. 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: 271–276.
- 2780 元木 悟・北澤裕明・前田智雄・久徳康史. 2011. 密植栽培がムラサキアスパラガス‘パープルパッション’の収量および生育に及ぼす影響. 園学研. 10 : 81–86.
- 元木 悟・北澤裕明・酒井浩晃・重盛 勲. 2011. アスパラガスのアスコルビン酸および可溶性固形物含量に及ぼす品種および収穫時期の影響. 園学研. 10 (別 1) : 487.
- 2785 Motoki, S., K. Matsunaga, T. Maeda and T. Kutsuzawa. 2008. Selection of asparagus cultivars for cold areas of Japan. *Acta Hort.* 776: 357–365.
- 永井耕介・羽二渕維子・小河拓也・中川勝也. 1997. 包装法の改善による夏季収穫ホ
- 2790 ウレンソウの鮮度保持. 日食保蔵誌. 23 : 133–138.

長野県. 2011. ブロッコリーの養分吸収特性に基づいた肥培管理法. 新しく普及に移す農業技術 平成 23 年度第 2 回. 長野県公式ホームページ.

<<https://www.pref.nagano.lg.jp/nogi/sangyo/nogyo/gijutsu/fukyugijutsu/201102/documents/112h14.pdf>>

2795 永田雅靖. 2012. 加工・業務用キャベツの収穫時期と貯蔵後の品質特性. 日食加工誌. 59: 40-44.

中嶋直子. 2004. 6. 花穂・若茎をまっすぐの状態に保つ. p. 24. 初谷 誠編著. 新版 農産物の輸送と貯蔵の実用マニュアル. 流通システム研究センター. 東京.

2800 Nei, M., F. Tajima and Y. Tateno. 1983. Accuracy of estimated phylogenetic trees from molecular data. J. Mol. Evol. 19: 153-170.

西村良平. 2004. 精農家のナバナ類栽培技術. 高齢でもむりのない栽培で高単価出荷. p. 千葉・石井 1-7. 農業技術大系野菜編 7 キャベツ・ハクサイ・ホウレンソウ・ツケナ類・シュンギク・チンゲンサイ・タアサイ・ナバナ類・ミズナ・ミブナ. 農文協. 東京.

2805 野村 忍. 2001. ナバナ. p. 11-20. 川城英夫編著. 新野菜づくりの実際－軟化・芽物. 農文協. 東京.

Noquet, C., J. C. Avice, L. Rossato, P. Beauclair, M. P. Henry and A. Ourry. 2004. Effects of altered source-sink relationship on N allocation and vegetative storage protein accumulation in *Brassica napus* L. Plant Sci. 166: 1007-1018.

2810 野呂孝史. 2010. そだててあそぼう [90] 菜っ葉の絵本. p. 6-11. 農文協. 東京.

農林水産省. 2014. 平成 26 年地域特産野菜生産状況. なばな(主として花を食すもの, 主として葉茎を食すもの).

<<http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/List.do?lid=000001155203>>.

農林水産省. 2015. 埼玉県. 伝統野菜を活用した新規産地の育成. 普及活動事例.

- 2815 <http://www.maff.go.jp/j/seisan/gizyutu/hukyu/h_zirei/pdf/11h27_saitama2.pdf>.
農林水産省. 2016. 農林水産物・食品輸出の手引き. 技術集 2. 技術例 青果鮮度保持
フィルム. <http://www.maff.go.jp/j/shokusan/export/torikumi_zirei/butsuryutebiki_28-3.2.pdf>
農林水産省. 2019. 作物統計調査 / 作況調査 (野菜) 確報 平成 30 年産野菜生産出
2820 荷統計.
<<https://www.e-stat.go.jp/stat-search/files?page=1&layout=datalist&toukei=00500215&tstat=000001013427&cycle=7&year=20180&month=0&tclass1=000001032286&tclass2=000001032933&tclass3=000001135323>>
2825 小田原孝治・矢野雅彦・松江勇次. 1991. ナバナの安定栽培技術. 第 2 報. 側枝の生
育に及ぼす気温ならびに摘心, 摘葉処理の影響. 福岡農総試研報 B. 11: 35-38.
小田原孝治・矢野雅彦・尾形武文. 1990. ナバナの安定栽培技術. 第 1 報. 播種期,
栽植密度及び施肥法と収量. 福岡農総試研報 B. 10: 27-30.
大井美知男・佐藤 靖子. 2002. 長野県在来カブ・ツケナ品種の類縁関係. 園学研. 1:
2830 237-240.
大川浩司・小島安治. 2008. 愛知県におけるナバナ (*Brassica napus* L.) 在来種の抽苔・
開花および側枝発生特性. 愛知農総試研報. 40: 113-119.
大久保増太郎. 1989. 野菜の鮮度保持. p. 1-38, 130-132. 養賢堂. 東京.
大久保増太郎. 1998. 野菜の生理と鮮度. p. 11-20. 酒寄直樹編著. 野菜の鮮度保持マ
2835 ニュアル. 流通システム研究センター. 東京.
奥山善直・平岩 進・石田正彦・菅原 俐・遠藤武男・柴田悖次・田野崎真吾・金子一
郎. 1995. なばな新品種「はるの輝」の育成. 東北農試研報. 89: 11-21.
押切浩江・大泉利勝. 2011. 食用ナバナ品種と播種期が収量・収穫時期等に及ぼす影

響. 千葉農林総研研報. 3: 37-44.

- 2840 Park S. D. E. 2001. The Excel microsatellite toolkit (version 3.1). Animal Genomics Laboratory, University College; Dublin, Ireland.
- Peakall, R. and P. E. Smouse. 2012. GenAlEx 6.5: genetic analysis in Excel. Population genetic software for teaching and research – an update. *Bioinformatics* 28: 2537–2539.
- Pelc, S. E., D. M. Couillarda, Z. J. Stansella and M. W. Farnhama. 2015. Genetic diversity
2845 and population structure of collard landraces and their relationship to other *Brassica oleracea* crops. *Plant Genome* 8. DOI 10.3835/plantgenome2015.04.0023.
- Pressman, E., R. Shaked and H. Aviram. 1985. Lateral shoot development in broccoli (*Brassica oleracea* var. *Italica*): The effect of pinching date. *Sci. Hortic.* 26: 1–7.
- Pritchard, J. K., M. Stephens and P. Donnelly. 2000. Inference of population structure using
2850 multilocus genotype data. *Genetics* 155: 945–959.
- Rabbani, M. A., A. Iwabuchi, Y. Murakami, T. Suzuki and K. Takayanagi. 1998. Phenotypic variation and the relationships among mustard (*Brassica juncea* L.) germplasm from Pakistan. *Euphytica* 101: 357–366.
- Renquist, A. R., R. E. Lill, W. H. Borst, B. L. Bycroft, V. K. Corrigan and E. M. O’Donoghue.
2855 2005. 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.
- Schmieder, R. and R. Edwards. 2011. Quality control and preprocessing of metagenomic datasets. *Bioinformatics* 27: 863–864.
- 2860 Shabani, A., A. R. Sepaskhah and A. A. Kamgar-Haghighi. 2013. Growth and physiologic response of rapeseed (*Brassica napus* L.) to deficit irrigation, water salinity and planting method. *Int. J. Plant Plod.* 7: 569–596.

- 志賀敏夫. 1971. IV 品種. p. 61-84. 現代農業技術双書 ナタネ. 家の光協会. 東京.
- 清水まゆみ・田中龍平. 2018. のらぼう菜を食べる, のらぼう菜のレシピ. p. 6-10.
- 2865 かわさき菅で育んだのらぼう. かわさき“のらぼう”プロジェクト. 神奈川.
- Shimizu, T. and K. Yano. 2011. A post-labeling method for multiplexed and multicolored genotyping analysis of SSR, indel and SNP markers in single tube with bar-coded split tag (BStag). BMC Research Notes 20114: 161.
- 篠原 温. 2014. 第1章. 野菜園芸学について. 野菜園芸学の基礎. p. 5-14. 篠原 温
- 2870 編著. 農文協. 東京.
- Shirasawa, K., H. Hirakawa and S. Isobe. 2016. Analytical workflow of double-digest restriction site-associated DNA sequencing based on empirical and *in silico* optimization in tomato. DNA res. 23: 145-153.
- 曾我綾香・坂本真理・上西愛子・吉田 誠. 2019. 地域伝統野菜「のらぼう菜」は収穫時期により味わいに変化します. 平成 29 年度農林水産関係試験研究成果一覧. 神奈川県公式ウェブサイト.
- 2875 <<https://www.pref.kanagawa.jp/docs/cf7/cnt/f450010/documents/4867.pdf>>.
- 曾我綾香・柘植一希・聖代橋史佳・上西愛子・坂本真理・久延一郎・元木 悟・吉田 誠. 2017. 川崎市における伝統野菜「のらぼう菜」(*Brassica napus* L.) の収穫時期別品質特性の解明. 園学研. 16 (別 1) : 167.
- 2880
- Soengas, P., M. E. Cartea, P. Velasco, G. Padilla and A. Ordás. 2008. Morphological and agronomic diversity of *Brassica napus* crops. J. Am. Soc. Hortic. Sci. 133: 48-54.
- Soengas, P., P. Velasco, G. Padilla, A. Ordás and M. E. Cartea. 2006. Genetic relationships among *Brassica napus* crops based on SSR markers. Hortscience 41: 1195-1199.
- 2885 鈴木芳孝・宮崎清宏・石川 豊・今堀義洋・上田悦範. 2006. パーシャル包装によるナバナの鮮度保持. 日食保蔵誌. 32 : 23-27.

- 高橋克典. 2005. 精農家のナバナ類栽培技術. 水稻の裏作にナバナの品種と作型を組み
み合わせ, 長期出荷. p. 福岡・柿木 1-15. 農業技術大系野菜編 7 キャベツ・ハ
クサイ・ハウレンソウ・ツケナ類・シュンギク・チンゲンサイ・タアサイ・ナバ
2890 ナ類・ミズナ・ミブナ. 農文協. 東京.
- Takahashi, M. and H. Sasaki. 2019. Competitive biomass allocation between the main shoot
and lateral branches of broccoli (*Brassica oleracea* L. var. *italica*). Hort. J. 88: 401–409.
- 高附亜矢子・石田 豊・垣渕和正・櫻井直樹・村田芳行・中野龍平・久保康隆. 2016.
収穫後の近赤外光照射が数種葉菜類の蒸散, 気孔開度および外観品質に及ぼす影
2895 響. 園学研. 15 : 197–205.
- Takezaki, N., M. Nei and K. Tamura. 2009. POPTREE2: Software for constructing population
trees from allele frequency data and computing other population statistics with Windows
interface. Mol. Biol. Evol. 27: 747–752.
- Tamura, K., G. Stecher, D. Peterson, A. Filipski and S. Kumar. 2013. MEGA6: Molecular
2900 Evolutionary Genetics Analysis Version 6.0. Mol. Biol. Evol. 30: 2725–2729.
- 東京都あきる野市. 2014. 郷土の古文書その 17. 閣婆菜種御請証文.
<<http://www.city.akiruno.tokyo.jp/cmsfiles/contents/0000001/1225/sono17.pdf>>.
- 椿眞由己. 2009. ノラボウナ. p. 特産野菜 480 の 4–480 の 9. 農業技術大系野菜編 11.
特産野菜・地方品種. 農文協. 東京.
- 2905 Tsuge, K., R. Chen, Y. Yoshioka and S. Motoki. 2017. Genetic diversity and cultivation
technique of ‘Norabona’: *Brassica napus* L. leafy vegetable landrace in western suburban
Tokyo. Brassica 2017, Pontevedra, VII International symposium on Brassicas: 52
(Abstr.).
- 柘植一希・樋口洋子・北條怜子・元木 悟. 2015. 関東地方の伝統野菜「のらぼう菜」
2910 (*Brassica napus* L.) の品質について. 日食保蔵誌. 41: 17–24.

- 柘植一希・今井峻平・仁菅卓也・米川源人・久延一郎・小川真美・元木 悟. 2016. 「のらぼう菜」(*Brassica napus* L.) の川崎市早生系統における主茎の摘心時期および除去節数が花茎の収量と品質へ及ぼす影響. 園学研. 15 (別 1) : 170.
- 柘植一希・増田陽介・溝田 鈴・元木 悟. 2018. 「のらぼう菜」(*Brassica napus* L.) とアスパラガス (*Asparagus officinalis* L.) における数種の包装資材の利用が貯蔵後の品質に及ぼす影響. 日食保蔵誌. 44: 229-238.
- 2915
- 柘植一希・大中創太・今井峻平・元木 悟. 2017. スイートコーンの異なる貯蔵形態が収穫後の「しなび」の発生に及ぼす影響. 園学研. 16 : 185-195.
- 津村義彦. 2012. 第 1 章 DNA マーカーの種類とその利用法. p. 179-192. 津村義彦・陶山佳久編著. 森の分子生態学 2. 文一総合出版. 東京.
- 2920
- U, N. 1935. Genome-analysis in *Brassica* with special reference to the experimental formation of *B. napus* and peculiar mode of fertilization. J. Jpn. Bot. 7: 389-452.
- USDA. 2018. Production, supply and distribution (PSD) online (Online Database). Market and trade data, Foreign agricultural service (FAS), Washington, DC.
- 2925 <<https://apps.fas.usda.gov/psdonline/app/index.html#/app/downloads>>.
- Villanueva, M. J., M. D. Tenorio, M. Sagardoy, A. Redondo and M. D. Saco. 2005. Physical, chemical, histological and microbiological changes in fresh green asparagus (*Asparagus officinalis*, L.) stored in modified atmosphere packing. Food Chem. 91: 609-619.
- Wilcockson, S. J. and Abuzeid, A. E. 1991. Growth of axillary buds of Brussels sprouts (*Brassica oleracea* var. *bullata* sub var. *gemmifera*). J. Agric. Sci. 117: 207-212.
- 2930
- 山田 盾・鈴木克己・中川 泉. 1994. 葉菜類に対する還元型ビタミン C 簡易迅速測定法 (RQ フレックスシステム) の適用性と測定例. 平成 6 年度関東東海北陸農研成果情報. p. 95-96.
- 山川邦夫. 2003. 起源からみた生態特性と作型分化. p. 43, 204, 217-218. 野菜の生

- 2935 態と作型. 農文協. 東京.
- 山川邦夫. 2016. アブラナ科各論 (2). ツケナとカラシナ・タカナ. p. 40-43. 基礎からわかる! 野菜の作型と品種生態. 農文協. 東京.
- 山本美恵子. 2009. 江戸東京野菜図鑑「のらぼう菜」. p. 96-103. 大竹道茂編著. 江戸東京野菜. 図鑑編. 農文協. 東京.
- 2940 Yang, X., R. Ren, R. Ray, J. Xu, P. Li, M. Zhang, G. Liu, X. Yao and A. Kilian. 2016. Genetic diversity and population structure of core watermelon (*Citrullus lanatus*) gnotypes using DArTseq-based SNPs. *Plant Resour. - C*. 14: 226-233.
- 吉田企世子・森 敏・長谷川和久. 2005. 野菜の成分とその変動. p. 28-35. 土壌環境からのアプローチ. 学文社. 東京.
- 2945 吉田達夫. 1998. 春化处理によるナバナ「はるの輝」の早春どり作型. 今月の農業. 42: 72-75.
- Zhao, J., X. Wang, B. Deng, P. Lou, J. Wu, R. Sun, Z. Xu, J. Vromans, M. Koornneef and G. Bonnema. 2005. Genetic relationships within *Brassica rapa* as inferred from AFLP fingerprints. *Theor. Appl. Genet.* 110: 1301-1314.
- 2950 Zhu, S., X. Zhang, Q. Liu, T. Luo, Z. Tang and Y. Zhou. 2018. Phenotypic variation and diversity of cauliflower (*Brassica oleracea* var. *Botrytis*) inbred lines. *Int. J. Agric. Biol.* 20: 1041-1048.
- Zurera, Z., M. Muñoz and R. Moreno. 2000. Cytological and compositional evaluation of white asparagus spears as a function of variety, thickness, portion, and storage conditions. *J. Sci. Food Agric.* 80: 335-340.
- 2955