

研究報告

紫さつまいものアントシアニン発現量に及ぼす生育環境の影響

加藤 淳¹⁾* 高濱雅幹²⁾ 野田智昭³⁾

¹⁾ 名寄市立大学保健福祉学部栄養学科 ²⁾ 北海道立総合研究機構上川農業試験場(前道南農業試験場)

³⁾ 北海道立総合研究機構花・野菜技術センター

キーワード: 紫さつまいも アントシアニン色素 品種 収穫時期 気象要因

1. はじめに

紫さつまいも(*Ipomoea batatas* (L.) Lam.)の多くは九州地方で生産されており、代表的な品種「アヤマラサキ」に含まれるアントシアニン色素には血圧降下作用が認められるなど、健康機能性を有することが報告されており¹⁾、各種飲料や菓子類に加工されるとともに、この色素を活用したペーストやパウダーなどが製造されている。

紫さつまいも品種「アケムラサキ」は、九州沖縄農業研究センターにおいて、高アントシアニンで加工適性が高い「アヤマラサキ」を母、外観が優れるアントシアニン系統の「九系 174」を父として交配し、2010年に品種登録されたもので、アントシアニン色素含有量は、いずれの栽培条件においても「アヤマラサキ」より高いとされている²⁾。

一方、北海道においては、比較的温暖な気候の道南地域の厚沢部町における焼酎原料用さつまいも品種「コガネセンガン」の作付けを契機に、現在では青果用品種である「ベニアズマ」などが道内各地で栽培され始めており³⁾、直売所などでは道産さつまいもが販売されるとともに、いくつかの加工品も出回っている。

これまでに、北海道立総合研究機構道南農業試験場(以下、道南農試と略)および花・野菜技術センターでは、紫さつまいもの栽培試験を行ってきており、北海道産の紫さつまいものアントシアニン含有量が、府県産のものに優る可能性を示すデータが得られている。また、道北地域(留萌管内遠別町)にある民間企業では、赤キャベツや赤シソからの色素抽出を行っており、紫さつまいもの試験栽培にも取り組み始めている。

今後、北海道が色素原料用紫さつまいもの産地として発展することにより、色素メーカーから求められている色素原料の安定供給に應えることが可能となる。将来的には、北海道の地域特性を活かした紫さつまいもの産地化を図ることで、地域産業の支援と地域の活性化につながる事が期待される。

そこで本研究では、紫さつまいもの生育環境が色素生産性に及ぼす影響について、品種および産地による差異や、収穫時期による差異について栽培試験を通して明らかにするとともに、気象要因がアントシアニン発現量に及ぼす影響について検討を行った。

2. 研究方法

1) 供試品種および栽培地

アントシアニン発現量の品種間差異の比較については、「アヤマラサキ」、「ムラサキマサリ」および「アケムラサキ」を供試して、2019年に道南農試(北斗市)において、各品種とも3反復で栽培を行った。

収穫時期による差異の比較については、「アケムラサキ」を供試して、2019年に道南農試において3反復で栽培し、9月中旬、10月上旬(標準収穫時期)および10月下旬に収穫を行った。

産地間における差異の比較については、「アケムラサキ」を供試して、2019年に北海道立総合研究機構

*責任著者 E-mail:katojun@nayoro.ac.jp

花・野菜技術センター（滝川市）、道南農試（北斗市）、農業・食品産業技術総合研究機構（以下、農研機構と略）九州沖縄農業研究センター（宮崎県都城市）および留萌管内遠別町において栽培した。

2) アントシアニン色素の抽出および測定

収穫した紫さつまいもは、凍結乾燥または加熱乾燥した後に粉碎し、色素抽出用の供試試料とした。アントシアニン色素の抽出は、予備試験の結果から、30 倍量の 1%硫酸で 24 時間抽出を行い、遠心分離により上清を得た。既往の報告^{4,5)}を参考に、McIlvaine buffer (pH3.0) により上清を 20 倍希釈した後に、OD530nm における吸光度を測定した。アントシアニン色素の色価 E (U) および単位面積 (10 アール) 当たりの色素収量 Yp (kg/10a) は次式により算出し、各処理区 (1~3 反復) の平均値を求めた。

$$E (U) = 10 \times A \times F \times 1/S$$

$$Yp (kg/10a) = E \times Y \times D \times 1/100$$

A : 吸光度 (OD530)、F : 希釈倍率、S : 試料重量 (g)、Y : 収量 (t/10a)、D : 乾物率 (%)

3. 結果

1) アントシアニン発現量の品種間差異

紫さつまいものアントシアニン発現量について、道南農試で標準収穫時期 (10 月上旬) に収穫した 3 品種を用いて比較した。その結果、上イモ収量 (くずイモを除いた単位面積当たり収量) は、「ムラサキマサリ」および「アケムラサキ」では 3t/10a を超えており、「アヤムラサキ」も全国水準の収量とされる 2.5t/10a に近い値であった。なお、乾物率は「ムラサキマサリ」でやや低い値であった (表 1)。

表 1 紫さつまいものアントシアニン発現量の品種間差異

品種	上イモ収量 (t/10a)	乾物率 (%)	色価 (U)	色素収量 (kg/10a)
アヤムラサキ	2.49	34.4	182.7	155.7
ムラサキマサリ	3.19	31.7	185.8	187.9
アケムラサキ	3.01	35.7	252.0	264.6

栽培地：北斗市（道南農試）

各品種の色価は、「アケムラサキ」が他の 2 品種に比べて著しく高い値を示し、上イモ収量と色価の積で表されるアントシアニン色素収量については、「アケムラサキ」>「ムラサキマサリ」>「アヤムラサキ」の順で高かった (図 1)。

このように、現在、一般栽培されている紫さつまいも品種の中では、「アケムラサキ」が色価、色素収量ともに高いことが示された。

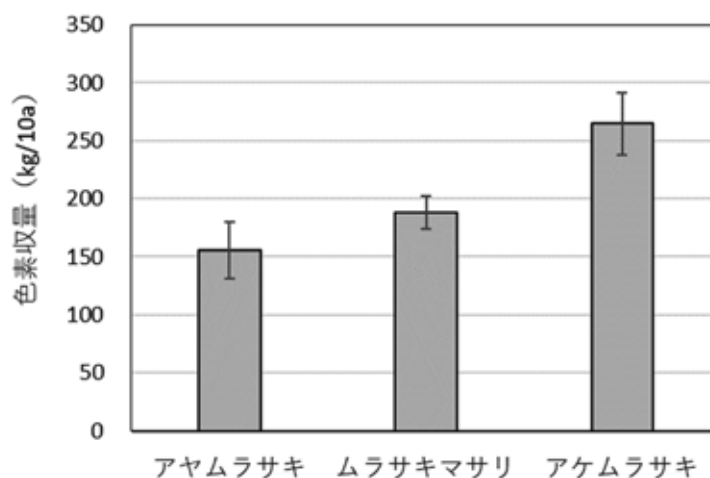


図 1 アントシアニン色素収量の品種間差異
(平均値±標準偏差)

2) アントシアニン発現量の収穫時期による差異

アントシアニン発現量の収穫時期による差異について、「アケムラサキ」を用いて道南農試で収穫時期を3水準に変化させて比較した。その結果、収穫時期が遅いほど、上イモ収量は高くなり、逆に乾物率は低下する傾向にあった（表2）。

表2 紫さつまいものアントシアニン発現量の収穫時期による差異

収穫時期	上イモ収量 (t/10a)	乾物率 (%)	色価 (U)	色素収量 (kg/10a)
9月中旬	2.61	36.9	281.0	272.7
10月上旬	3.01	35.7	252.0	264.6
10月下旬	3.36	34.6	315.0	369.1

供試品種：アケムラサキ、栽培地：北斗市（道南農試）

色価およびアントシアニン色素収量については、標準の収穫時期である10月上旬に比べ、10月下旬の収穫で高くなる傾向にあった。特に、上イモ収量と色価の積で表される色素収量については、10月下旬の収穫で著しく高くなった（図2）

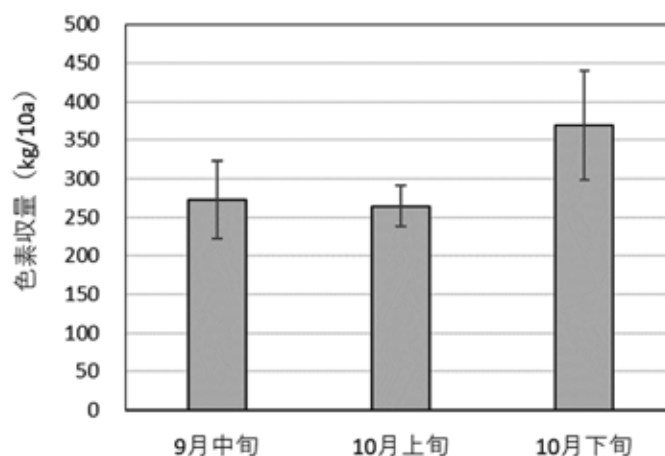


図2 アントシアニン色素収量の収穫時期による差異
(平均値±標準偏差)

3) アントシアニン発現量の産地間差異

アントシアニン発現量の産地間差異について、道央（滝川市）、道南（北斗市）、道北（遠別町）および九州（宮崎県都城市）で栽培した「アケムラサキ」を用いて比較した。その結果、上イモ収量は滝川市で全国水準の収量（2.5t/10a）を確保し、北斗市および都城市では3t/10aを上回る結果となったが、遠別町では著しく低い値であった。色価については、滝川市および遠別町で高く、都城市で低かった。遠別町では収量が著しく低かったため、アントシアニン色素収量としては滝川市で最も高い結果となった（表3）。

表3 紫さつまいものアントシアニン発現量の産地間差異

生産地	上イモ収量 (t/10a)	乾物率 (%)	色価 (U)	色素収量 (kg/10a)
滝川市	2.51	33.4	373.0	312.0
北斗市	3.31	36.3	228.0	275.0
都城市	3.27	36.3	159.0	188.0
遠別町	0.87	33.4	331.0	96.0

供試品種：アケムラサキ

4) 紫さつまいもの生育に及ぼす気象要因の影響

(1) 紫さつまいもの栽培期間と気象データ

気象条件の大きく異なる3地域(道南、道北、九州)において、「アケムラサキ」を用いて各種気象要因との関係について解析した。なお、北斗市(道南農試)では、収穫時期を3水準に設定して栽培を行ったため、それぞれの栽培期間の気象データを用いて検討した。

解析に用いた気象データは、全栽培期間、収穫前1カ月間および収穫前1週間における積算温度、平均気温、最高気温、最低気温、日照時間および降水量であった。また、さつまいもの塊根が肥大する定植後40日から120日目における積算温度も解析に用いた。これらの気象データの内、上イモ収量、乾物率、色価およびアントシアニン色素収量と関係の認められた気象要因、ならびに各生産地における定植日および収穫日について、表4に示した。

表4 各生産地における紫さつまいも栽培期間の気象データ

生産地 (収穫時期)	定植日	収穫日	全栽培期間	全栽培期間	全栽培期間	定植40~120日	収穫前1週間	収穫前1週間
			積算温度(°C)	平均気温(°C)	日照時間(hr)	積算温度(°C)	平均気温(°C)	日照時間(hr)
北斗市(9月中旬)	5月24日	9月18日	2337	19.8	624.4	1610	19.3	38.5
北斗市(10月上旬)	5月24日	10月3日	2582	19.4	728.7	1686	17.8	46.5
北斗市(10月下旬)	5月24日	10月21日	2816	18.6	812.8	1686	10.4	47.6
都城市	5月10日	10月10日	3774	24.5	711.9	2101	23.9	32.5
遠別町	5月30日	10月18日	2459	17.3	731.6	1533	8.4	35.2

(2) 上イモ収量に影響を及ぼす気象要因

紫さつまいもの上イモ収量は、北斗市において10月上旬(標準収穫期)および10月下旬に収穫した場合の収量と、都城市における収量はいずれも3t/10aを超えていた。また、北斗市において9月中旬の早期に収穫した場合でも、約2.6t/10aと全国水準(2.5t/10a)に達していた(図3)。しかし、道北の遠別町では上イモ収量が著しく低く、きわめて細いくずイモが多く認められた。

上イモ収量に影響を及ぼす気象要因について検討した結果、全栽培期間を通した積算温度との間に有意な相関係数が認められ、特に定植後40日から120日の積算温度との間には、やや高い正の相関関係($r=0.596$ 、 $P<0.1$)が認められた(図4)。

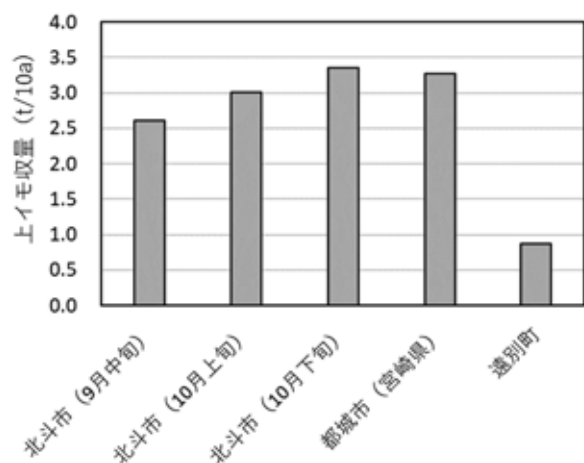


図3 生産地(収穫時期)による上イモ収量の差異

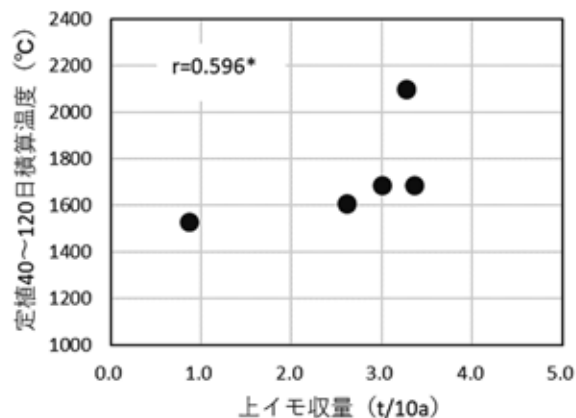


図4 定植40~120日の積算温度と上イモ収量の関係

(3) 乾物率に影響を及ぼす気象要因

紫さつまいもの乾物率は、生産地別にみると、都城市が 37.5%と最も高く、遠別町は 33.4%と最も低く、北斗市はその中間（10 月上旬の標準収穫期で 35.7%）であった。また、北斗市ではいずれの収穫時期でも 35%前後であったが、収穫時期が遅くなるに従い、やや低下する傾向にあった（図 5）。

乾物率に影響を及ぼす気象要因について検討した結果、収穫前 1 週間の平均気温との間に極めて高い正の相関関係（ $r=0.971$ 、 $P<0.01$ ）が認められた（図 6）。

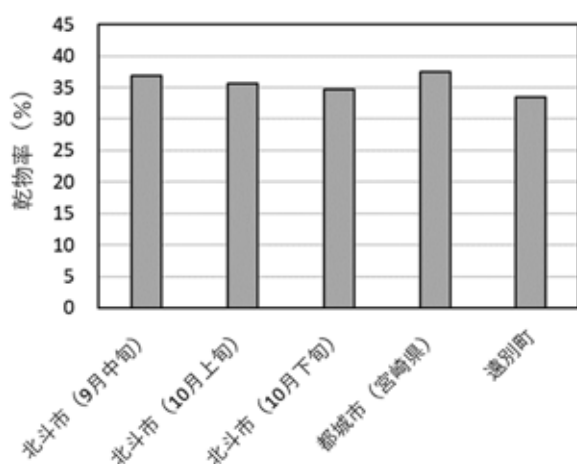


図 5 生産地および収穫時期による乾物率の差異

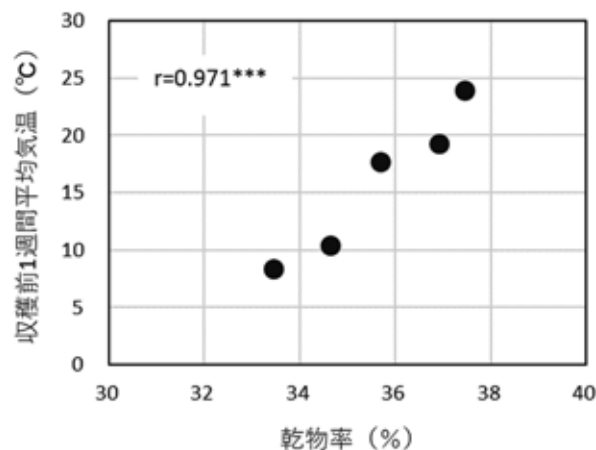


図 6 収穫前 1 週間の平均気温と乾物率の関係

(4) 色価に影響を及ぼす気象要因

紫さつまいもの色価は、遠別町で 331U と最も高く、都城市で 159U と最も低く、北斗市はその中間（10 月上旬の標準収穫期で 252U）であった。また、北斗市では 10 月下旬の遅い収穫時期で 315U となり、収穫時期が遅い場合に、やや高くなる傾向にあった（図 7）。

色価に影響を及ぼす気象要因について検討した結果、栽培期間中の平均気温との間に極めて高い負の相関関係（ $r=-0.967$ 、 $P<0.01$ ）が認められた（図 8）。

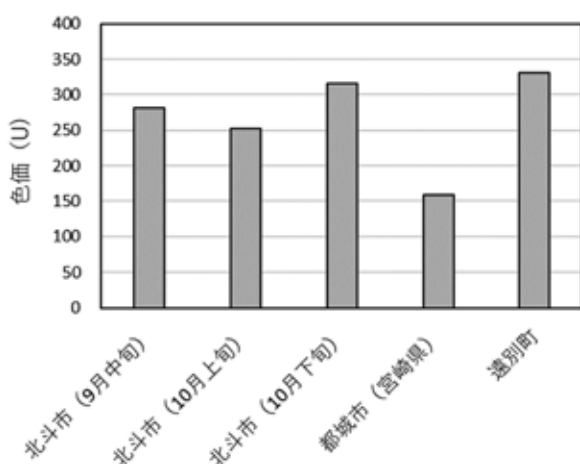


図 7 生産地および収穫時期による色価の差異

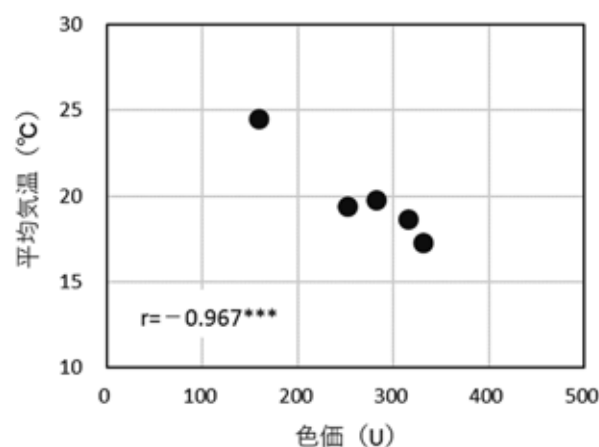


図 8 栽培期間中の平均気温と色価の関係

(5) 色素収量に影響を及ぼす気象要因

紫さつまいもの色素収量は、北斗市の10月下旬収穫で369kg/10aと最も高く、都城市では188kg/10a、遠別町では96kg/10aと最も低かった。また、北斗市の9月中旬および10月上旬(標準収穫期)では270kg/10a前後となっており、収穫時期が遅い場合に、高くなる傾向が認められた(図9)。

色素収量に影響を及ぼす気象要因について検討した結果、収穫前1週間の日照時間との間にかなり高い正の相関関係($r=0.789$ 、 $P<0.01$)が認められた(図10)。

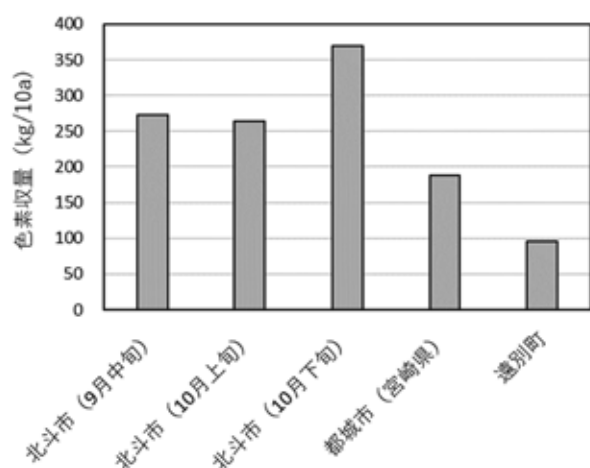


図9 生産地および収穫時期による色素収量の差異

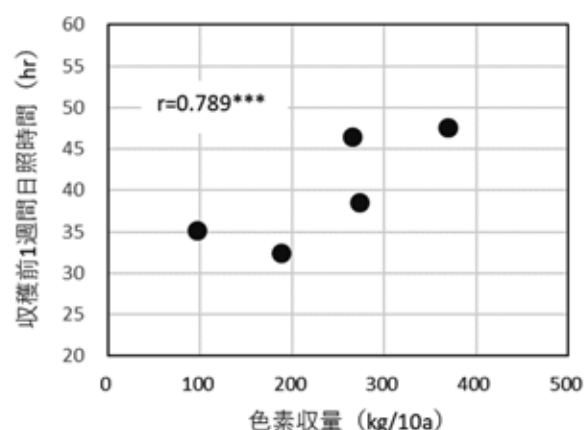


図10 収穫前1週間の日照時間と色素収量の関係

4. 考察

さつまいもの原産地は、中南米の熱帯地帯とされており、日本国内においても、鹿児島県を始めとする九州地方や茨城県など、関東以南の暖地が主産地となっている。しかし近年、寒冷地である北海道においても、病害リスクの低さや温暖化の影響等により、さつまいもの作付けは徐々に増加してきている³⁾。生食用の代表的な品種「ベニアズマ」では、栽培期間中の積算温度が2,300℃以上あれば、全国水準の収量である2.5t/10aが確保できるとされており、道南地域では一定水準の収量が確保できることが示されている⁶⁾。

今回の試験結果からも、紫さつまいもの収量は道南の北斗市において、「アヤマラサキ」で全国水準の2.5t/10a程度が確保されており、「アケムラサキ」および「ムラサキマサリ」では3t/10aに達することが示された。「ベニアズマ」の場合と同様に、「アケムラサキ」の収量には積算温度が関与しており、定植後40日から120日の積算温度との間には、高い正の相関関係が認められたことから、さつまいも塊根の肥大期間に相当する定植40日から120日目までの積算温度が重要であるものと考えられた。

一方、さつまいものでん粉含有率の指標ともなる乾物率は、貯蔵性や蒸し芋のホクホク感にも関与しており、生食用さつまいもの品質面からは乾物率が高い方が良いとされている。生食用品種「ベニアズマ」では120日以上在圃期間が、北海道における高乾物率のさつまいも生産に必要であると報告されている⁶⁾。

今回の試験では、「アケムラサキ」の乾物率は、産地間で比較すると都城市と北斗市で高い傾向にあった。また、収穫時期による違いでは早期の収穫ほど高い傾向にあり、平均気温が低くなるにしたがって低下する傾向が認められた。特に、収穫前1週間の平均気温との間には極めて高い相関関係が認められたことから、この時期の気温が重要であることが示された。

アントシアニンは広く植物に含まれるフラボノイド系色素で、酸性で赤色、中性で紫色、アルカリ性で青色を呈する。加熱や紫外線の照射に対して不安定であるが、さつまいもに含まれるアントシアニン色素は、赤キャベツ、しそ、いちご、りんごなどに含まれるものよりも安定であることが報告されている⁷⁾。また、

紫さつまいもの塊根には、比較的安定なアシル化アントシアニン色素が高濃度で含有されており、「アヤマラサキ」からはシアニジン型 4 種類、ペオニジン型 4 種類、合計 8 種類の主要なアントシアニン色素が同定されている^{8,9)}。これらのうち、シアニジン型 3 種類およびペオニジン型 4 種類のアントシアニンは、抗酸化活性に重要な役割を果たしていることが報告されている¹⁰⁾。

紫さつまいもでは塊根全体にアントシアニンを蓄積するが、栽培期間中での蓄積はかなり初期の段階から認められ、定植後 3 週間から 6 週間目にかけてアントシアニン含有量の急激な増加が見られ、その後 12 週間から 17 週間目にかけて緩やかな増加が見られると報告されている⁵⁾。

一般に、植物は低温条件下での栽培によりアントシアニン色素の発現が増加するため、紫さつまいもにおいても同様に、寒冷地の方がその発現量は多くなるものと考えられる。「アケムラサキ」を用いてアントシアニン発現量（色価）の産地間比較を行った結果では、道央の滝川市や道北の遠別町で高く、九州の都城市で低い結果となった。また、収穫時期としては、栽培期間中の平均気温が 18.6℃と低かった 10 月下旬収穫で色価は高くなった。アントシアニンの発現量（色価）に及ぼす気象要因としては、栽培期間中の平均気温との間に極めて高い相関関係が認められたこと、紫さつまいものアントシアニン蓄積は定植後の早い段階から認められること⁵⁾ などから、栽培期間全体を通した平均気温が重要であるものと考えられる。

一方、一定面積の圃場から得ることのできるアントシアニン色素収量については、上イモ収量と色価の積となるため、色素の発現量のみならず塊根の収量が重要となってくる。道北の遠別町では、色価は高くても上イモ収量が著しく低いため色素収量は低くなり、逆に九州の都城市では、上イモ収量は高くても色価が低いため色素収量はさほど高くはならなかった。収穫時期による比較では、上イモ収量および色価がともに高かった 10 月下旬収穫で、色素収量が高くなることが示された。また、色素収量に関与する気象要因としては、収穫前 1 週間の日照時間との間に高い正の相関関係が認められ、今回の試験結果からは、乾物率と同様に収穫直前の気象条件も影響していることが示唆された。

5. おわりに

北海道におけるさつまいも栽培は、関東以南の他府県と比べるとまだまだ小規模である。しかし北海道では、主要産地で問題となっているサツマイモネコブセンチュウなどの病害虫の発生リスクは小さく、一定の気象条件を確保できる地域においては、全国平均並みの収量も見込めることから、今後の作付け拡大が期待される。

生食用の主要品種「ベニアズマ」では、本州よりも気温の低い北海道で栽培することにより、でん粉の糊化開始温度が有意に低下し、 β -アミラーゼ活性は同等かそれ以下であっても、マルトース含有量が高くなると報告されている¹¹⁾。さつまいもの甘さに関与する遊離糖類は、グルコース、フルクトース、スクロースおよびマルトースであり、これらはでん粉から生成されるため、でん粉の糊化が重要な役割を果たすと考えられており^{12,13)}、北海道におけるさつまいもの生産は、紫さつまいもによるアントシアニンの生産のみならず、生食向けの品種でも優位性が発揮できるものと考えられる。

現在、農研機構では低温耐性を有する系統の選抜が行われており¹⁴⁾、道南農試などで試験栽培を実施中である。本報告は単年度の試験結果に基づく成果ではあるが、アントシアニン色素の発現量に及ぼす気象要因の影響について、いくつかの知見は得られたものとする。今後、北海道におけるさつまいもの作付面積が、より一層拡大していくことを期待する。

謝辞

分析試料を提供してくださった、独立行政法人 農業・食品産業技術総合研究機構 九州沖縄農業研究センター（宮崎県都城市）および鹿遠産業株式会社（遠別町）、ならびに調査にご協力いただいた留萌農業改

良普及センターの皆様にご心より感謝申し上げます。

付記

本稿は、名寄市立大学コミュニティケア教育研究センター2019年度課題研究の採択を受けたものである。

参考文献

- 1) 小林美緒、沖智之、増田真美、永井沙樹、福井敬一、松ヶ野一郷、須田郁夫(2005) 紫サツマイモ「アヤマラサキ」から調整したアントシアニン含有物の高血圧自然発症ラットに対する血圧降下作用. 日本食品科学工学会誌 **52**: 41-44.
- 2) 境哲文、熊谷亨、甲斐由美、石黒浩二、山川理、片山健二、中澤芳則、吉永優(2010) サツマイモ品種「アケムラサキ」の育成. 九州沖縄農業研究センター報告 **53**: 1-24.
- 3) 高濱雅幹(2014) 北海道におけるサツマイモの生産と試験研究の現状. いも類振興情報 **120**: 38-42.
- 4) 日本食品科学工学会(2008) 食品機能性評価マニュアル集第I集(改訂2版), 1-9.
- 5) Yoshinaga M, Tanaka M, Nakatani M (2000) Changes in Anthocyanin Content and Composition of Developing Storage Root of Purple-Fleshed Sweet Potato (*Ipomoea batatas* (L.) Lam). Breeding Science **50**: 59-64.
- 6) 高濱雅幹、野田智昭、植野玲一郎、宗形信也(2016) 北海道南部地域におけるサツマイモの定植・収穫時期が収量および品質に与える影響. 園芸学研究 別冊 **15** (2): 419.
- 7) 津久井亜紀夫、鈴木敦子、小巻克己、寺原典彦、山川理、林一也(1999) さつまいもアントシアニン色素の組成比と安定性. 日本食品科学工学会誌 **46**: 148-154.
- 8) Terahara N, Shimizu T, Kato Y, Nakamura M, Maitani T, Yamaguchi M, Goda Y (1999) Six Diacylated Anthocyanins from the Storage Roots of Purple Sweet Potato, *Ipomoea batatas*. Biosci. Biotechnol. Biochem. **63**(8): 1420-1424.
- 9) 寺原典彦、沖智之、松井利郎、福井敬一、杉田浩一、松本清、須田郁夫(2007) 紫甘しょに含まれる主要アントシアニンの一斉定量. 日本食品科学工学会誌 **54**: 33-38.
- 10) Yijie H, Liqing D, Jinwu C, Siyu Z, Shuang L, Yufan F, Chunxian Y, Zhihua L, Min C (2016) An Analytical Pipeline to Compare and Characterise the Anthocyanin Antioxidant Activities of Purple Sweet Potato Cultivars. Food Chemistry **194**: 46-54.
- 11) 中村善行、蔵之内利和、高田明子、片山健二(2014) サツマイモを蒸した際のマルトース生成に及ぼす塊根の β -アミラーゼ活性およびデンプン糊化温度の影響. 日本食品科学工学会誌 **61**: 577-585.
- 12) 中村善行(2020) サツマイモの甘さに関わる糖質成分. 日本食品科学工学会誌 **67**: 305-314.
- 13) 中村善行、高田明子、蔵之内利和、増田亮一、片山健二(2014) 糊化温度の低いデンプンを含むサツマイモ「クイックスイート」における加熱に伴うマルトース生成の機序. 日本食品科学工学会誌 **61**: 62-69.
- 14) 蔵之内利和(2019) サツマイモ低温耐性系統の育成について. いも類振興情報 **141**: 32-36.