

《短報》

冬春どりダイコンにおける青変症発生条件の解明

高田敦之, 増田義彦

**Elucidation of Occurrence Condition of Internal Bluing in
Winter-Spring-Radish(*Raphanus sativus*)**

Atsushi TAKADA and Yoshihiko MASUDA

摘 要

冬春どりダイコンを収穫してから数日後、根の内部組織に青色色素が生成する青変症の発生条件、品種間差について検討した。15℃、20℃、25℃及び30℃の貯蔵温度で比較したところ、20℃貯蔵で最も青変症が発生しやすく、貯蔵開始から5～6日後に発生最盛期となった。青変症の症状は1～2日で退色するものの、発色部位の組織には淡褐色の痕が残った。発生度には品種間差があり、発生しやすい品種では、作型や収穫時期に関わらず発生した。また、青変症発症リスク評価法（寺西・永田，特開 2014-122874）を用い、貯蔵試験と比較したところ、種子を用いる方法及び根部を用いる方法と貯蔵試験との相関係数は各々0.60（ $p<0.1$ ）及び0.48（ $p<0.01$ ）で、精度はやや低いものの、極めて簡便かつ安価であり、実用性の高い評価法であると考えられた。

キーワード：青変症，ダイコン，貯蔵，評価法

Summary

After a few days of harvest of winter-spring radish, we evaluated the occurrence conditions and varietal differences of the internal bluing; bluish pigmentation inside the root tissue. We compared the development of the internal bluing at four different storage temperatures (15, 20, 25 and 30°C), and found that 20°C was the most critical temperature for the symptom development. After 5-6 days of harvest, the occurrence of the symptom reached to the peak and subsequently the bluish pigmentation was faded within 2 days though there still remained pale brown color at the same tissue. There are clear varietal differences in the symptom development: varieties with high risk of the occurrence developed the symptom regardless of the cropping type and harvest time. Besides, we applied a risk assessment method for internal bluing that Teranishi and Nagata have developed (Japanese Patent Application No. 2012-255037, 2013-184638) by comparing the risk of the occurrence with the result of storage test. Correlation coefficient obtained from the results between the risk assessment method and the storage test was 0.48 (with root, $p<0.01$) and 0.6 (with seed, $p<0.1$), respectively, suggesting that the risk assessment method is practically applicable because of the extreme simplicity and inexpensiveness though the accuracy is slightly low.

Key words: internal bluing, radish, storage, assessment method

緒 言

青変症は、ダイコン (*Raphanus sativus* L. var. *longipinnatus* L. H. Bailey) を収穫した数日後に根の内

部組織に青色色素が生成する生理現象である。したがって、収穫時点で確認できず、発生後も外観から判別できないため、調理段階や消費段階になって症状が確

認められ、消費者からのクレームや返品・取扱中止など深刻な問題になっている(生活協同組合コープこうべ)。

ダイコン根部の生理障害には、ホウ素欠乏を主因とする赤心症や油浸症、時無系品種に発生する黒変症、宮重系品種に発生する赤変症等が知られているが(川城 2003)、いずれも青変症とは症状が異なる。根部内部が青く着色する現象は比較的古くから知られており、三浦ダイコン(品種‘三浦都’)では青アザ症(仮称)と呼ばれ、低温貯蔵では発生しないこと等が再現試験で確認されている(大林・平石 1974)。

三浦半島地域で青変症が再び問題視されるようになったのは2008年以降であり(三浦半島農業改良推進協議会 2014)、夏どり産地の北海道や砂丘地に産地を有する石川県でも近年問題になり、青変症関連の試験研究が行われ(黒崎ら 2000)、青変症が20℃前後で発生しやすく、品種間差異があることが認められている(池下ら 2010)。

ダイコンには根色が赤や紫のもの、紅心大根のように根の木部柔組織が有色の品種もあり、ダイコン類に含まれるアントシアニンも同定されているが(加藤ら 2013)、青変症の原因物質や発生機構については不明であった。近年、青色物質がアントシアニン系色素ではなく(永田ら 2012)、アブラナ科野菜に微量に含まれているインドール型グルコシノレートのひとつである4-hydroxyglucobrassicin(前駆物質)が酸化した青色物質群であることが明らかになった(寺西ら 2015)。

現在のところ、青変症の発生は、流通後のダイコン切断でしか確認できないが、流通前に発生リスクを予知するための青変症発症リスク評価法の開発(永田・寺西 2013, 寺西ら 2013)や透過光により青変症を目視する非破壊検出器が試作されているが(永田ら 2013)、その実用性については早急に検証する必要がある。

本研究では、三浦半島地域の冬春どりダイコンにおける青変症の発生要因に関わる収穫後の温度条件及び品種間差異、青変症発症リスク評価法の実用性等について検討したので報告する。

材料及び方法

1. 供試材料

試験は、当所内の腐植質黒ボク土の圃場(神奈川県

三浦市、年平均気温15.8℃、年平均降水量1,557 mm)で実施した。供試材料には、三浦半島地域の主要5作型における標準的な品種及び播種日で栽培した青首ダイコンを供試した(表1)。10 a 当たり牛ふん堆肥を1 t、顆粒タイニーを100 kg 施用し、基肥としてポリホス s002p を90 kg、ハイマグ B 重焼リンを31 kg、硫マグを40 kg、追肥としてNK2 号を37 kg、2回施用した(N:P₂O₅:K₂O=21:20:23 kg/10 a)。栽植密度は、畝間50 cm、株間24 cmとした。収穫は、各作型の適期に行ったほか、11月どりを2014年12月5日に、1月どりを2015年2月27日に、2月どりを2014年12月12日に行った。

表1 作型、供試品種、播種日及び収穫日

作型	供試品種	播種日 ²	収穫日 ³
11月どり	‘福誉’、‘そろった根’	9/5	11/7, 11/17, 11/21, 12/5
12月どり	‘福誉’、‘徳誉’	9/16	12/5, 12/12
1月どり	‘青誉’、‘冬ひびき’、‘福誉’	9/19	1/9, 1/16, 1/23, 1/30, 2/27
2月どり	‘冬人88’、‘T-424’、‘福誉’	9/25	12/12, 2/6, 2/13, 2/20, 2/27
3月どり	‘YR春の浦’、‘夢誉’、‘福誉’	10/10	3/6, 3/13, 3/20, 3/27

²播種はすべて2014年。³収穫日の11~12月は2014年、1~3月は2015年。

2. 青変症発生条件の検討

収穫したダイコン根部を洗浄し、出荷状態(葉付)または根部のみを貯蔵サンプルとした。貯蔵試験には、グロースチャンパー(SANYO, MLR350T, MLR351H)を用い、収穫当日から貯蔵を開始し、毎日5本ずつ取り出して、青変症の発生状態を調査した。貯蔵条件は、暗黒下で貯蔵温度を15℃、20℃、25℃、30℃及び変温管理(貯蔵開始から3日間20℃、4日以降10℃)とした。青変症の発生程度は、根部を垂直中央で半分に切断し、切断面の発色程度を目視により0(なし)、1(少)、2(中)、3(多)、4(甚)の5段階で評価した。発生度は、 Σ (発色程度指数×個体数) / (4×全調査個体数) ×100で求めた。

3. 青変症発症リスク評価法の検証

種子を用いる評価法(以下、種子評価法)では、「2. 青変症発生条件の検討」に供試した品種について、各品種10粒の正常な種子(市販されているもの)をイオン交換水で一夜吸水処理し、種皮を除いた種子をオキシドール(過酸化水素水2.5~3.5 W/V%含有)に浸漬し、2時間後に室温で発色程度を調査した。発色程度

及び発生度は試験2と同様に行った。一方、ダイコン根部を用いる評価法（以下、根部評価法）では、「2. 青変症発生条件の検討」の供試サンプルを用い、収穫時または貯蔵3～4日後に根部を垂直中央で半分に切断した切断面にオキシドールをトリガー式スプレーで噴霧し、5分後に室温で発色程度を調査した。

結果及び考察

1. 青変症発生条件の検討

11月及び12月どり‘福誉’、1月どり‘冬ひびき’、2月どり‘冬人88’及び3月どり‘春の浦’について貯蔵温度を変えて青変症の発生をみたところ、15℃、20℃、25℃及び30℃のすべてで発生が認められ、発生率、発色程度及び発生度は、いずれも20℃で最も高かった（表2）。次に、収穫後3日間を20℃で貯蔵後10℃に温度を下げた場合でも、同様のパターンで青変症が発生した（表3）。青変症は、貯蔵開始5～6日後に発生最盛期に達し（表2, 3, 4, 5）、1～2日で退色したが、発生部位の組織には淡褐色の痕が残った（図1）。

表2 ダイコン収穫後の貯蔵温度が青変症の発生に及ぼす影響^z

貯蔵温度 ^y (℃)	発生最盛期 ^x (日)	発生率 (%)	発色程度 ^w	発生度 ^v
15	7.0	20	1.3	10
20	5.0	77	2.2	51
25	4.8	42	1.2	17
30	4.5	40	1.7	15

^z20℃、25℃及び30℃貯蔵の‘福誉’、15℃、20℃及び25℃貯蔵の‘冬ひびき’、‘冬人88’及び‘春の浦’の平均値。^y暗黒条件のグロースチャンパーの設定温度。^x貯蔵開始から発生度最盛期までの日数。^w発色程度を0～4の5段階で評価。^v発生度=Σ（発色程度指数×個体数）/（4×全調査個体数）×100。

表3 ダイコン収穫後の貯蔵温度変化が青変症の発生に及ぼす影響

品種	収穫日 ^z (貯蔵開始日)	貯蔵温度 ^y (℃)	発生最盛期 ^x (日)	発生率 (%)	発色程度 ^w	発生度 ^v
福 誉	1/23	20→10	6.0	60	1.3	20
福 誉	2/27	20→10	7.0	100	3.4	85
冬ひびき	1/23	20→10	5.0	80	1.8	35

^z収穫日は2015年。^y暗黒条件のグロースチャンパー設定温度を貯蔵開始から3日間20℃、4日目から10℃とした。^x表2参照。

青変症の発生には顕著な品種間差異がみられ、本研究の貯蔵条件下では、‘福誉’、‘冬ひびき’、‘冬人88’及び‘春の浦’は発生しやすく、‘T-424’は少程度の発生、‘そろった根’、‘徳誉’、‘青誉’

表4 ダイコン収穫後20℃で貯蔵したときの品種別作型別青変症発生状態

品 種	作 型	発生最盛期 ^z (日)	発生率 (%)	発色程度 ^y	発生度 ^x
福 誉	11月どり	6.0	60	1.3	20
福 誉	12月どり	5.0	100	2.6	64
福 誉	1月どり	6.0	100	2.4	60
福 誉	2月どり	6.0	100	2.6	64
福 誉	3月どり	5.0	80	2.0	42
冬ひびき	1月どり	4.7	87	2.1	55
冬人88	2月どり	4.5	40	1.3	28
春の浦	3月どり	6.5	90	2.9	66
T-424	2月どり	4.0	10	0.5	3
そろった根	11月どり	nd	0	nd	0
徳 誉	12月どり	nd	0	nd	0
青 誉	1月どり	nd	0	nd	0
夢 誉	3月どり	nd	0	nd	0

^z表2参照。nd：発生が認められず。

表5 ダイコンの収穫時期の違いが青変症の発生状態に及ぼす影響^z

播種日 ^z	収穫日 ^y (貯蔵開始日)	収穫時期	収穫時の根重(g)	発生最盛期 ^x (日)	発生率 (%)	発色程度 ^w	発生度 ^v
9/5	12/5	遅い	2,186	6.0	100	3.0	75
9/16	12/5	適期	1,249	5.0	100	2.5	63
9/25	12/12	早い	761	5.0	100	2.4	60

^z貯蔵温度は20℃。^y播種及び収穫は2014年。品種‘福誉’。^x表2参照。

及び‘夢誉’では、発生が認められなかった（表4）。ただし、‘青誉’については過去の貯蔵試験で発生度が0～10の間で変動し、軽微に発生することもあった（データ省略）。

さらに、‘福誉’の11～3月どりで比較したところ、すべての作型で青変症の発生が認められた（表4）。また、収穫時期を適期、早い及び遅いの3条件で比較したところ、いずれも同様に発生が認められた（表5）。なお、上記は根部のみ貯蔵した試験結果であるが、出荷状態（葉付）でも同様に発生が認められた（データ省略）。

2. 青変症発症リスク評価法の検証

種子評価法では、9品種中8品種で種子に青色色素が生成され、発生率100%の4品種のうち‘青誉’を除く‘福誉’、‘冬ひびき’及び‘YR春の浦’は、貯蔵試験での発生度が45～55と高かった（表6）。一方、発生率が0%及び30%の‘T-424’及び‘そろった根’は、貯蔵試験での発生度が3及び0と低かった（表

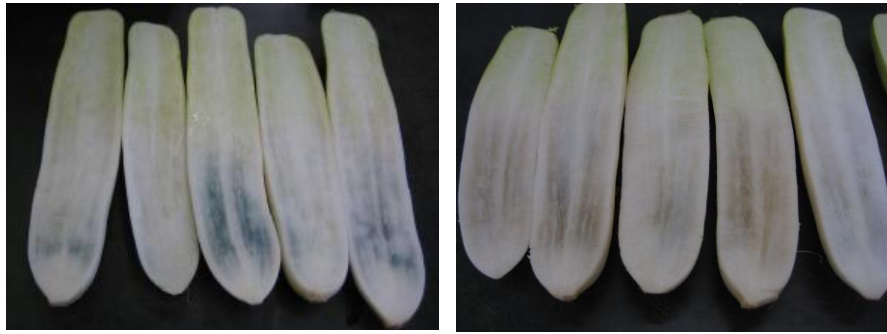


図1 貯蔵中に発生した青変症及び退色痕

品種‘冬人88’，2015年2月6日収穫．20℃貯蔵4日後(左図)及び6日後(右図)

表6 青変症発症リスク評価法と貯蔵試験の相関関係

品種	種子評価法 ^z			根部評価法 ^w			貯蔵試験 ^v			相関係数 ^u
	発生率 (%)	発色程度 ^y	発生度 ^x	発生率 (%)	発色程度	発生度	発生率 (%)	発色程度	発生度	
福誉	100	2.5	63	100	3.4	86	86	2.1	49	
そろった根	30	1.0	8	100	2.2	55	0	0	0	種子発生率×貯蔵発生度
徳誉	60	1.7	25	100	2.8	70	0	0	0	r=0.60(p<0.1)
青誉	100	3.1	78	100	2.0	50	0	0	0	
冬ひびき	100	1.7	43	100	2.8	70	76	1.9	45	根部発生度×貯蔵発生度
冬人88	40	1.3	13	100	3.1	78	30	1.0	21	r=0.48(p<0.01)
T-424	0	0	0	80	1.2	30	10	0.5	3	
YR春の浦	100	3.1	78	100	3.0	74	76	2.7	55	
夢誉	70	2.1	38	100	2.5	63	0	0	0	

^zダイコン種子の種皮を除いてオキシドールに約2時間浸漬(各区10粒調査)．^y～^x表2参照．^wオキシドールを貯蔵3～4日目のダイコン根部切断面に噴霧し，約5分後の発色状態を調査．^v暗黒・20～30℃に設定したグローブスチャンパー内で数日間貯蔵して発色状態を調査．^u種子発生率×貯蔵発生度は各平均値(n=9)について，根部発生度×貯蔵発生度は20～30℃貯蔵した9品種5作型の全データ(n=40)について各々相関係数r及び有意確率p値を求めた．

6)．発生率が40～70%の‘冬人88’，‘徳誉’及び‘夢誉’の貯蔵試験での発生度は0～21の間で変動し，種子評価法での発生率と貯蔵試験の発生度には弱い相関が認められたものの統計的有意性は低かった(相関係数 $r=0.60$, $p<0.1$, 表6)．

次に，根部評価法では，全品種がオキシドール噴霧により青変し，発生度が70～86と高かった5品種のうち‘徳誉’を除く‘福誉’，‘冬人88’，‘YR春の浦’及び‘冬ひびき’は，貯蔵試験での発生度が21～55と高かった(表6)．一方，発生度が30～63の‘T-424’，‘青誉’，‘そろった根’及び‘夢誉’の貯蔵試験での発生度は，0～3と低かった(表6)．根部評価法と貯蔵試験の発生度を比較したところ，統計的に有意な弱い相関(相関係数 $r=0.48$, $p<0.01$)が認められた(表6)．

これらの評価法は，青色色素の前駆物質が酸化還元剤により青くなる発生機構を利用したもので，極めて簡便かつ安価に青変症発症リスクが評価できる．実際の活用場面では，たとえば種子評価法の発生率が100%，根部評価法の発生度が70以上を基準にスクリーニン

グすることで，青変症発症リスクの高い品種は概ね除外可能と考えられる．

ところで，評価精度に関しては一考の余地がある．‘青誉’は種子評価法で100%の発生率にも関わらず根部評価法の発生度は70以下となり，貯蔵試験で青変症の発生が認められなかった．‘徳誉’の場合は，根部評価法の発生度は70と高いが，貯蔵試験では青変症が発生しなかった．これらの結果から，青変症の前駆物質が種子或いは根部において高めに検出されても発症を抑制する何らかの別の因子が関与している可能性が推察される．実際，抑制因子のひとつとしてアスコルビン酸が注目されている(永田ら2014)．また，‘冬人88’のように種子評価法の発生率は40と低いものの，根部評価法の発生度は78と高く，貯蔵試験でも青変症が発生しており，種子と根部で前駆物質の含有パターンが異なる品種もある可能性が示唆される．また，同一品種のサンプルに青変化する種子としない種子が混在していることから，個体変異がある可能性もあり，これらの青変化しない変異を育種素材として利用する

ことも有効であると考えられる。

青変症は、収穫後に低温貯蔵することで回避できるが、今回の結果から、一度 20℃で貯蔵すると、その後 10℃で冷蔵しても青変症が発生する可能性が示された。収穫から消費まで切れ目なくコールドチェーン化できればよいが、莫大なコストを要するため容易ではない。また、青変症を発生しない品種を選定するにも、各産地で栽培されているダイコンの品種数は極めて多く、貯蔵試験を実施する労力は膨大なものになるため、青変症発症リスク評価法を活用する方が現実的である。

今後、青変症発生機構の全容が明らかになれば、品種育成や栽培、流通の各段階での効果的な青変症発生抑制技術の開発につながるものと期待される。

謝辞

本報告を作成するにあたり、国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構食品総合研究所の永田雅靖博士には、御校閲の労をとっていただいた。ここに記して感謝の意を表す。

引用文献

池下洋一・石端一男・金森有里. 2010. 収穫後の貯蔵方法がダイコン青変症の発生に及ぼす影響. 園芸学会北陸支部研究発表要旨: 29.

加藤一幾・佐藤和成・金澤俊成・庄野浩資・小林伸雄・立澤文見. 2013. ダイコン類 (*Raphanus sativus* L.) における根色とアントシアニン. 園学研 12(3): 229-234.

川城英夫. 2003. 生理・生態を生かす栽培の基本. 農業技術体系野菜編. 追録第 28 号第 9 巻: 基 98 の 18-32.

黒崎友紀・西田忠志・入谷正樹. 2000. だいこん新品種の特性調査と収穫後に発生する生理障害. 北海道立十勝農試成果情報.

三浦半島農業改良推進協議会. 2014. 三浦半島農業のあゆみ: 8-10.

永田雅靖・増田大祐・池下洋一・寺西克倫. 2012. 青変症ダイコンに含まれる青色色素はアントシアニンではない. 園芸学会東海支部研究発表要旨: 4.

永田雅靖・増田大祐・池下洋一・寺西克倫. 2013. ダイコン青変症の透過光による非破壊検査器の試作. 園学研 12(別 1): 224.

永田雅靖・寺西克倫. 2013. 種子を用いたダイコン青変症のリスク評価法. 園学研 12(別 2): 252.

永田雅靖・寺西克倫・増田大祐・池下洋一・増田義彦. 2014. ダイコン青変症の発症とアスコルビン酸代謝の関係. 園学研 13(別 1): 246.

大林延夫・平石雅之. 1974. 青アザダイコン(仮称)再現試験. 神奈川園試三浦そ菜試験成績: 100-101. 生活協同組合コープこうべ. 商品 Q&A (野菜・果物). http://www.kobe.coop.or.jp/kensa/q_a/yasai001/backno011.html.

寺西克倫・永田雅靖・増田大祐・池下洋一・増田義彦. 2013. ダイコン根を用いたダイコン青変症の発症リスク評価法. 園学研 12(別 2): 252.

寺西克倫・永田雅靖. 2014. ダイコン青変症の発症リスク評価剤及び評価キット, 並びに評価方法. 特許公開 2014-122874.

寺西克倫・永田雅靖・増田大祐. 2015. ダイコン根の青変症における青色色素形成の前駆物質. 園学研 14(別 1): 253.