

ロジット・モデル分析によるダイコンの内部褐変症の障害 進展に関与する温度条件の解析

誌名	園芸学研究
ISSN	13472658
著者名	福岡,信之 工藤,卓雄 棧敷,孝浩 増田,大祐 金森,友里 榎本,俊樹
発行元	園芸学会
巻/号	6巻4号
掲載ページ	p. 559-564
発行年月	2007年10月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター

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



ロジット・モデル分析によるダイコンの内部褐変症の障害進展に関与する温度条件の解析

福岡信之^{1*}・工藤卓雄^{1a}・栈敷孝浩²・増田大祐¹・金森友里¹・榎本俊樹³

¹ 石川県農業総合研究センター砂丘地農業試験場 929-1126 石川県かほく市

² 北海道大学大学院農学研究科農業経済学分野 060-8589 札幌市

³ 石川県立大学食品科学科 921-8836 石川県野々市町

Statistical Analysis of the Development of Internal Browning in Japanese Radish in Relation to Thermal Condition Using Logit Model

Nobuyuki Fukuoka^{1*}, Takuo Kudou^{1a}, Takahiro Sajiki²,
Daisuke Masuda¹, Yuri Kanamori¹ and Toshiki Enomoto³

¹ Sand Dune Agricultural Experimental Station, Ishikawa Agricultural Research Center, Kahokushi, Ishikawa 929-1126

² Department of Agricultural Economics, Graduate School of Agriculture, Hokkaido University, Sapporo, Hokkaido 060-8589

³ Department of Food Science, Ishikawa Prefectural University, Nonoichi, Ishikawa 921-8836

Abstract

To clarify the correlation between the occurrence of internal browning (IB) in *Raphanus* root and the thermal condition, especially, during the later growth period, a logit model was established, using the severity of IB in plant grown under different covering materials along with air and/or soil temperature data. Analytical results demonstrated that independent variables of 35°C for maximum air temperature or 29°C for maximum soil temperature were the most adaptable. The percentages of correct predictions using those models were high, ranging from 80% to 90%. These observations strongly suggest that the severity of IB is closely correlated with thermal conditions during the later growth period, and could be controlled by changing these conditions.

Key Words : air temperature, covering materials, soil temperature

キーワード : 地温, 被覆資材, 気温

緒 言

収穫期が高温に向かう夏ダイコンは、各種の病害や生理障害が発生しやすく、総じて品質が悪い。なかでも、内部褐変症は根身内部が褐色～黒色に変色する生理障害で、障害発生株は商品価値が全くない。この障害は、発生の有無を外観で判断することができないことから市場流通する場合が多く、消費者にも損失を与えている。

川城・武田(1986)は、内部褐変症の発生と生育後半の平均気温との間に高い相関があることを認め、さらに、人工気象室を用いた実験で昼温 30°C、夜温 21°C とすると障害の発生が顕著となることを報告している。一方、内部褐変症の障害程度には根身内部が水浸状となり極薄い褐色を呈する軽いものから、根身全体が褐色～黒褐色を呈する甚

大なものまで様相が様々である(Fukuoka・Enomoto, 2001)。この障害は播種後 40 日目頃から認められ、その後の生育に伴って症状が進展し(Fukuoka・Enomoto, 2002)、生育後半にポリエチレンフィルムをトンネル被覆して日中の最高気温を 40°C 以上とすると、短期間で甚大な障害となることが知られている(Fukuoka・Enomoto, 1996)。これらのことは、内部褐変症の障害の進展には温度条件が密接に関与していることを示唆しているが、障害の進展を考慮した温度域や高温遭遇期間等についての研究は行われていない。

そこで、本研究では異なる被覆資材を用いて気温ならびに地温を異にした場合の内部褐変症の発生状況を経時的に調査し、これらのデータを基に内部褐変症の障害の進展に強く影響を及ぼす温度条件をロジット・モデルにより解析した。

材料および方法

1. 供試材料および栽培管理

品種は「福天下」を用いた。

2006 年 6 月 15 日に石川県砂丘地農業試験場の露地圃場

2006 年 12 月 25 日 受付. 2007 年 4 月 2 日 受理.

本研究は農林水産省委託プロジェクト研究「低コストで質の良い加工・業務用農産物の安定供給の開発 1 系」で行われた。

* Corresponding author. E-mail: n-fuku@pref.shikawa.jp

^a現在: 石川県農業総合研究センター流通加工グループ

に畦幅 120 cm, 株間 30 cm, 条間 30 cm の二条千鳥植となるように播種した. 栽培様式はマルチ栽培とし, 灌水は条間に設置した灌水チューブで行った. 間引きは播種後 14 日目とし, 施肥は基肥として播種 14 日目に N, P_2O_5 , K_2O を $15 \text{ kg} \cdot 10 \text{ a}^{-1}$, 苦土石灰を $60 \text{ kg} \cdot 10 \text{ a}^{-1}$, 微量要素補給のためクミアイ熔成微量要素肥料 (FTE) を $6 \text{ kg} \cdot 10 \text{ a}^{-1}$ になるように施用し, また, 追肥として播種後 25 日目に N, P_2O_5 , K_2O をそれぞれ $10 \text{ kg} \cdot 10 \text{ a}^{-1}$ となるように施用した. その他の管理は慣行法にならって行った.

2. 処理方法

温度条件と内部褐変症の発生との関係をみるため, 畦の直上に幅 80 cm, 高さ 50 cm のトンネルを設け, 播種後 36 日目より 60 日目まで 0.02 mm 厚ポリエチレンフィルム, 赤外線カットフィルム (三井化学プラテック (株) 製, メガクールネット), 黒色遮光ネット (ダイオ化成 (株) 製, ダイオネット #810) をそれぞれ被覆する 3 区 (以下, PE 区, IRB 区, BS 区と記す) と無被覆の対照区の計 4 区を設けた.

3. 生育ならびに内部褐変症の調査, 気温・地温の測定

処理後 7, 17, 24 日目に各区 20 個体ずつ採取し, 均一な 15 個体について葉重, 根重, 根径, 内部褐変症の発生状況を調査した. 内部褐変症の調査は, 根部を縦割りにした後, 障害程度を無 (0), 微 (1), 小 (2), 中 (3), 甚 (4) の 5 段階に分類し, 各区の障害程度の平均値を算出して行った. 気温ならびに地温は, 畦中央の地表面から 30 cm の高さで 10 cm の深さに設置したセンサーを用いて計測し, 計測データは温度記憶計 (Model SK-L200T : (株) 佐藤計量器製作所) を用いて 1 時間ごとに記録した.

4. ロジット・モデルによる内部褐変症発生推定モデルの検討

ある個体について, 微 (1) ~ 甚 (4) の各段階以上の障害が発生している場合を $Y_i = 1$, 発生していない場合を $Y_i = 0$

としたロジット・モデルにより, 段階別の障害発生確率を推定した. 説明変数は, 障害発生を助長する温度域を明らかにするため, 温度別の高温遭遇日数とした. また, 生育状況をあらわす根重を考慮した. この時, 障害発生確率は以下の式となる.

$$P_{ii} = 1 / (1 + e^{-Z_i}) \quad (1)$$

$$Z_i = \beta_0 + \beta_1 X_{i1} + \beta_2 X_{i2} \quad (2)$$

ただし, P_{ii} は $Y_i = 1$ の確率, β は推定すべきパラメータ, X_{i1} はある一定水準以上の日最高気温 (または日最高地温) に遭遇した日数, X_{i2} は根重である. データ数は 180 で, データ解析には SHAZAM.Ver.9.0. を用いた. なお, 園芸学の分野でロジット・モデルにより分析を行っている既存の研究としては, 赤石ら (2006) の報告がある.

結果および考察

1. 被覆資材の種類と葉根部の生育との関係

処理期間中の日最高気温は, PE 区, 対照区, IRB 区, BS 区の順に高く, 一部の日を除くとそれぞれ $44 \sim 50^\circ\text{C}$, $32 \sim 37^\circ\text{C}$, $31 \sim 36^\circ\text{C}$, $30 \sim 35^\circ\text{C}$ で経過した (第 1 図). また, 各区の日最高地温は, PE 区で $30 \sim 36^\circ\text{C}$ と高く, 次いで対照区の $25 \sim 32^\circ\text{C}$ となり, IRB 区では $24 \sim 30^\circ\text{C}$, BS 区では $24 \sim 29^\circ\text{C}$ と低かった. なお, IRB 区, BS 区の晴天時の遮光率は, それぞれ $30 \sim 40\%$, $70 \sim 75\%$ であった (データ省略).

葉部の生育は, いずれの処理区も処理 7 日目から 17 日目にかけて抑えられた. 処理区間では, BS 区の生育が処理期間を通して最も良く, また, PE 区では処理 17 日目までの生育が顕著に抑えられた (第 2 図 A). 根部の生育は, 処理期間を通して無被覆の対照区で最も良く, 次いで IRB 区が

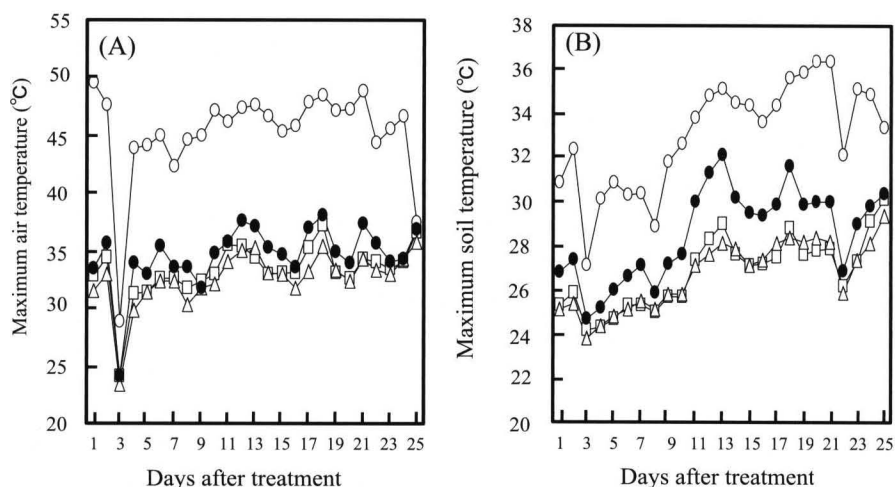


Fig. 1 Changes in maximum air (A) and soil (B) temperatures during treatment.

● : control, ○ : PE film (PE), □ : Infrared ray blocking film (IRB), △ : Black shade film (BS).

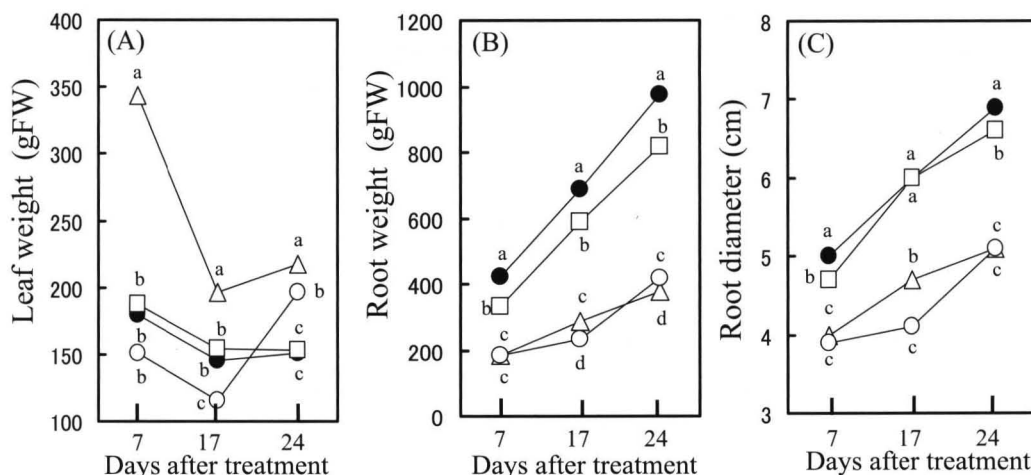


Fig. 2 Effect of different tunnel film materials on plant growth during treatment. A, B and C indicate leaf weight, root weight and root diameter, respectively. Means for samples during the same growth period followed by the same letter are not significantly different at the 5% level (Duncan's multiple range test).

● : control, ○ : PE film (PE), □ : Infrared ray blocking film (IRC), △ : Black shade film (BS).

良かった (第2図B, C). これに対し, PE区, BS区では処理直後より生育が顕著に抑えられ, いずれの調査時点においても根重, 根径の各値が前者に比べて小さかった. 一般に, ダイコンの根部肥大は30℃以上の高温で抑制されることが知られている (早田ら, 1986). 光条件としては, 生育適温下では4~5万lux程度までは照度が高いほど良いと考えられている (斎藤, 1991). 従って, PE区で葉根部の生育が抑制されたのは40℃以上の日最高気温や30℃以上の日最高地温等の高温が原因で, BS区で生育が劣ったのは, 透光率が30%程度と低く, 光強度が極端に不足したためと考えられた.

2. 被覆資材の種類と内部褐変症の発生との関係

内部褐変症の発生と生育後半の平均気温との間には高い相関があり, 人工気象室を用いて昼温30℃, 夜温21℃とすると障害の発生が顕著となることが知られている (川城・武田, 1986). 川合ら (1992) は, 4月上旬から8月中旬まで約1ヶ月間隔でダイコンを播種して内部褐変症の発生様相を調査し, 障害の発生は生育後半の平均気温が21℃以上となる7月中旬の播種期まで多く, 平均気温がこれ以下となる8月中旬以降の播種では認められないことを報告している. 一方, Fukuoka・Enomoto (1996) は, 内部褐変症の発生や障害の進展には日最高気温が関与し, 日最高気温が高いほど障害が早くから発生することを, また, 生育後半のポリエチレンフィルムのトンネル被覆によって日最高気温を40℃以上とすると, 短期間で甚大な障害がみられることを報告している. さらに, Fukuoka・Enomoto (2001, 2002) は, 代謝レベルではこの障害は生育後半の昼間の高温ストレスによって根身内部に過剰に発生した活性酸素が, アスコルビン酸グルタチオン酸回路の機能低下によってポリフェノールオキシダーゼの介在する褐変誘導系で消去されるために発生することを指摘している. そこで, 本

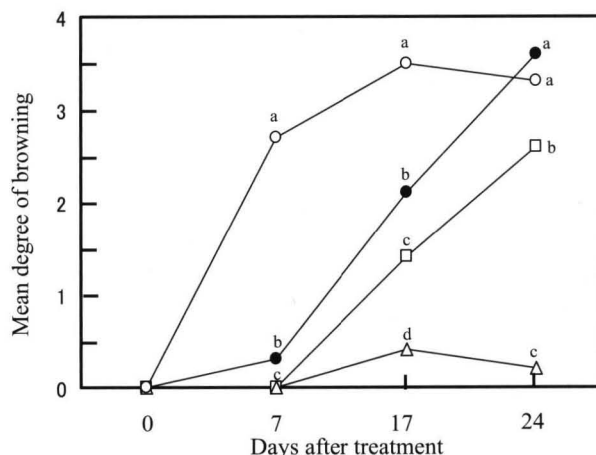


Fig. 3 Effect of different tunnel film materials on the occurrence of internal browning during treatment. Means for samples during the same growth period followed by the same letter are not significantly different at the 5% level (Duncan's multiple range test).

● : control, ○ : PE film (PE), □ : Infrared ray blocking film (IRB), △ : Black shade film (BS).

実験では, 最高気温や最高地温が内部褐変症の発生に及ぼす影響を調査した. その結果, 障害程度の平均値は日最高気温44~50℃, 日最高地温30~36℃で経過したPE区で処理7日目にはlevel3となり, 17日目にはlevel3.5に達した (第3図). また, 日最高気温32~37℃, 日最高地温25~32℃で経過した対照区は7日目には障害がほとんど認められず, その後に障害が急速に進展し, 24日目にはPE区と同等の障害程度となった. 一方, 赤外線カットフィルムを被覆して日最高気温31~36℃, 日最高地温24~30℃とすると24日目の障害程度の平均値はlevel2.5にまで軽減され, さらに, 黒色遮光ネットを被覆して日最高気温30~

35°C, 日最高地温 24 ~ 29°C とすると, 処理 24 日目でも障害がほとんど認められなかった. 従って, 内部褐変症の障害の発生とその症状の進展には, 生育後半のある一定以上の日最高気温や日最高地温の遭遇日数が密接に関係すると考えられた.

3. ロジット・モデルによる障害進展に関与する温度条件の解析

内部褐変症の発生には生育中～後半の日中の高温とその遭遇日数が関与することが示唆されたことから, 日最高気温を 25°C から 39°C まで, 日最高地温を 25°C から 36°C までそれぞれ 1°C 間隔で設定し, 設定温度以上の遭遇日数と

Table 1 Values of McFadden's R^2 on logit model estimates.

Dependent variable			Degree of browning			
			Level 1 or above	Level 2 or above	Level 3 or above	Level 4
Independent variables	Air temperature	25°C or above ^z	0.1770	0.1593	0.1008	0.2158
		29°C or above	0.1619	0.1384	0.0840	0.1932
		30°C or above	0.1760	0.1550	0.0966	0.2115
		31°C or above	0.1891	0.1711	0.1087	0.2295
		32°C or above	0.2703	0.2744	0.1907	0.3181
		33°C or above	0.4127	0.4339	0.3051	0.3584
		34°C or above	0.5450	0.6060	0.3592	0.3628
		35°C or above	<u>0.6672</u>	<u>0.6278</u>	<u>0.3505</u>	<u>0.3345</u>
		36°C or above ^y	<u>0.6313</u>	<u>0.6613</u>	<u>0.3555</u>	<u>0.3280</u>
		38°C or above	0.6012	0.6472	0.3288	0.3116
		39°C or above	0.5993	0.6420	0.3208	0.3032
	Soil temperature	25°C or above	0.2168	0.2107	0.1440	0.2714
		26°C or above	0.3776	0.4165	0.2995	0.3613
		27°C or above	0.3652	0.4114	0.2917	0.3549
		28°C or above	0.4355	0.4987	0.3343	0.3455
		29°C or above	<u>0.6813</u>	<u>0.6102</u>	<u>0.3749</u>	<u>0.3422</u>
		30°C or above	0.6304	0.6184	0.3602	0.3276
		31°C or above	0.6304	0.4965	0.2644	0.2987
		32°C or above	0.6304	0.5791	0.2469	0.2788
		33°C or above	0.3310	0.3511	0.2126	0.2691
		34°C or above	0.3310	0.3511	0.1982	0.2463
		35°C or above	0.3310	0.3511	0.1314	0.1703
		36°C or above	0.1933	0.1771	0.0958	0.1328

^z Same of 26°C or above, 27°C or above and 28°C or above.

^y Same of 37°C or above.

Table 2 Logit model estimates for the occurrence of internal browning.

Dependent variable			Degree of browning			
			Level 1 or above	Level 2 or above	Level 3 or above	Level 4
Air temp 35°C adoption Model	Estimated coefficient	Root weight	0.0034 (1.902) ^z	0.0022* (2.075)	0.0017* (2.347)	0.0029** (3.378)
		Air temp 35°C	1.4548** (4.579)	1.0022** (5.796)	0.2775** (6.036)	0.2131** (5.807)
		Constant	-5.7296** (-5.226)	-5.2811** (-5.668)	-3.0477** (-6.228)	-4.9782** (-6.393)
	McFadden's R^2		0.6672	0.6278	0.3505	0.3345
Air temp 36°C adoption Model	Percentage of correct predictions		90.0	92.2	81.1	82.2
	Estimated coefficient	Root weight	0.0074** (3.967)	0.0060** (4.514)	0.0031** (4.174)	0.0039** (4.217)
		Air temp 36°C	1.5457* (2.257)	0.9789** (6.462)	0.2712** (5.849)	0.1935** (5.772)
		Constant	-4.0831** (-4.869)	-4.8869** (-5.773)	-3.1056** (-6.332)	-4.9118** (-6.432)
Soil temp 29°C adoption Model	McFadden's R^2		0.6313	0.6613	0.3555	0.3280
	Percentage of correct predictions		89.4	91.1	81.7	82.8
	Estimated coefficient	Root weight	—	0.0034** (3.162)	0.0014 (1.853)	0.0021* (2.557)
		Soil temp 29°C	3.0614** (5.045)	0.6892** (6.046)	0.2579** (6.612)	0.2015** (5.964)
		Constant	-1.8970** (-5.587)	-3.6434** (-5.456)	-2.5727** (-5.577)	-4.3430** (-6.428)
Soil temp 29°C adoption Model	McFadden's R^2		0.6795	0.6102	0.3749	0.3422
	Percentage of correct predictions		93.3	91.7	80.0	83.9

^z The values in parentheses are t-values. * and ** represent significance at 5% and 1%.

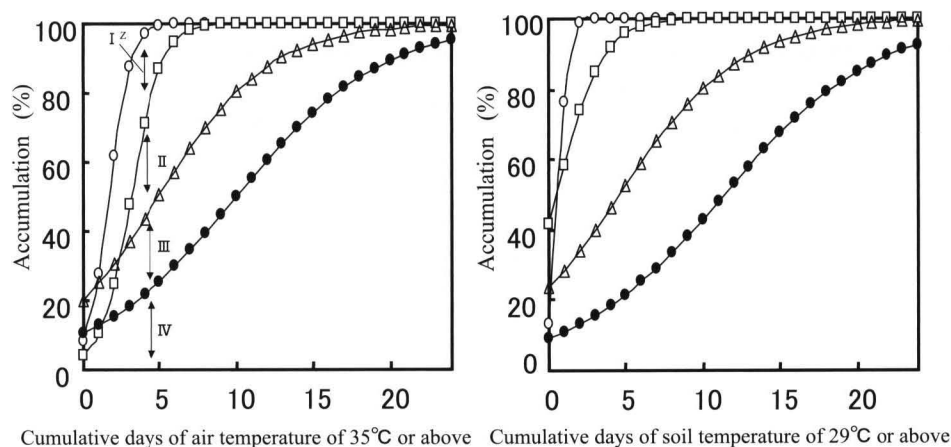


Fig. 4 Occurrence accumulation distribution of internal browning.

○ : level 1 or above, □ : level 2 or above, △ : level 3 or above, ● : level 4.

^z the roman numerals represent occurrence of level 1 (I), level 2 (II), level 3 (III) and level 4 (IV).

処理区間差が大きかった根重を説明変数にしてロジット・モデル分析を行った。その結果、日最高気温では 35°C 以上または 36°C 以上、日最高地温では 29°C 以上の遭遇日数を説明変数としたモデルでマクファーデンの R^2 の値が高く、モデルの適合度が高かった (第 1 表)。ロジット・モデルによる分析結果を第 2 表に示したが、計測式における定数項以外の各係数はいずれもプラスの値で、高温遭遇日数が増えるほど、根重が重くなるほど内部褐変症の発生確率は高まった。また、これらのモデルにおいて障害の発生状況が正しく予測される割合 (Percentage of Correct Predictions) は、「level 1 以上発生モデル」と「level 2 以上発生モデル」が約 90%、「level 3 以上発生モデル」と「level 4 以上発生モデル」が 80% 以上と高かった。従って、日最高気温については 35°C 以上、日最高地温については 29°C 以上の遭遇日数を用いたロジット・モデルは、内部褐変症の障害の進展を予測する有効な方法であると考えられた。

4. ロジット・モデルに基づく障害進展のシミュレーション

被覆資材の活用が生育に及ぼす影響を除外した純粋な高温遭遇日数と障害発生との関係を見るため、根重を処理後 24 日目 (播種後 60 日目) の対照区の生育と同様とした場合の障害発生確率に関するロジスティック曲線を第 4 図に示した。障害程度別の発生確率は 35°C 以上の日最高気温に 5 日間遭遇すると level 1 が 12%、level 2 が 37%、level 3 が 24%、level 4 が 26% となり、10 日間の遭遇では level 2 が 20%、level 3 が 30%、level 4 が 50% となることが想定された。この結果は、35°C 以上の高温遭遇日数を 10 日間 (対照区の遭遇日数に相当) から 5 日間まで削減すると、収穫時の障害程度の平均値が level 3.3 から level 2.6 にまで軽減されることを示唆している。

本研究では内部褐変症の障害進展の予測には、35°C 以上の最高気温や 29°C 以上の最高地温の遭遇日数と根重からなるロジット・モデルが有効であることを、さらに、日中の高温を抑制すると障害の進展が軽減できることを明らか

にした。本実験では黒色遮光ネットの被覆によって障害の発生が顕著に軽減されたが、根部肥大が抑えられたため実用的ではなかった。今後は、遮光率の低い黒色遮光ネットの種類や日中の高温を回避するかん水法等の検討によって、根部肥大を図りつつ障害発生を軽減する技術の開発が必要と考える。

摘 要

異なる被覆資材を用いてダイコンを栽培した場合の内部褐変症の発生状況を調査し、これらのデータを基に内部褐変症の障害の進展に関する温度条件をロジット・モデルにより解析した。その結果、日最高気温を 35°C 以上または日最高地温を 29°C 以上とし、その遭遇日数を説明変数とした場合に最もマクファーデン R^2 の値が高かった。このケースでの障害発生状況に関する正しい予測の割合は、「level 1 以上発生モデル」と「level 2 以上発生モデル」が約 90%、「level 3 以上発生モデル」と「level 4 以上発生モデル」が 80% 以上であった。

引用文献

- 赤石拓也・中川孝之・鈴木健司・岩佐博邦・陳 文西・小林登史夫. 2006. 画像解析を用いたヤマトイモの形状評価手法の開発と 4 年間の形状発現事例—栄養繁殖性作物における形状発現の経年追跡—. 園学研. 5: 325–329.
- Fukuoka, N. and T. Enomoto. 1996. Role of pentose phosphate pathway in the root of Japanese radish (*Raphanus sativus* L.). Sand Dune Res. 43: 19–23.
- Fukuoka, N. and T. Enomoto. 2001. The occurrence of internal browning induced by high soil temperature treatment and its physiological function in *Raphanus* root. Plant Sci. 161: 117–124.
- Fukuoka, N. and T. Enomoto. 2002. Enzyme activity changes in

relation to internal browning of *Raphanus* root sown early and late. J. Hort. Sci. & Biotech. 77: 456–460.

早田保義・篠原 温・鈴木芳夫. 1986. 高温がハッカダイコンの体内成分に及ぼす影響. 園学雑. 55: 51–55.

川合貴雄・飛川光治・藤沢敏寛. 1992. ダイコン肥大根の赤心症ならびにポリフェノール含量に及ぼす播種期,

地温および寒冷しゃ被覆の影響. 園学雑. 61: 339–346.

川城英夫・武田英之. 1986. ダイコンの赤しんに関する研究. 第1報. 発生推移及び気・地温, 土壤水分, 肥料葉面散布の影響. 園学要旨. 昭61春: 210–211.

斎藤 隆. 1991. 蔬菜園芸の事典. p. 273. 朝倉書店. 東京.