低地温検定装置での発根・生育によるサツマイモ系統の低温耐性の評価

藏之内利和^{*1,2)}・高田明子²⁾・熊谷亨³⁾・片山健二¹⁾

1) 農研機構次世代作物開発研究センター

2) 農研機構本部

3) 農研機構西日本農業研究センター

要 旨：サツマイモでは、北海道等冷涼地での栽培が近年広がりつつある。そこで、冷涼地向けのサツマイモ系統を選抜するため、簡易な低地温検定装置を開発した。低温耐性の評価に適する地温として 17℃、栽培期間として 3 週間を選定し、再現性は高かった。多収で冷涼地向けの系統を育成するためには、低地温検定による評価だけでは不十分であり、引き続いて圃場での早植え栽培等による評価も必要であろう。

キーワード：サツマイモ、低温耐性、低地温、発根。

Evaluation of sweetpotato lines with low-temperature tolerance via rooting and growth in a low soil temperature testing device : Toshikazu KURANOCHI^{1,2)}, Akiko TAKADA²⁾, Toru KUMAGAI³⁾ and Kenji KATAYAMA¹⁾

⁽¹⁾ National Agriculture and Food Research Organization, Institute of Crop Science, ⁽²⁾ National Agriculture and Food Research Organization, Headquarters, ⁽³⁾ National Agriculture and Food Research Organization, Western Region Agricultural Research Center)

Abstract : In recent years, sweetpotato cultivation is becoming more prevalent in relatively cold regions such as Hokkaido prefecture. We therefore developed a simple low soil temperature testing device to select sweetpotato lines suitable for these relatively cold regions using a ground temperature of 17℃ as being suitable for the evaluation and a cultivation period of 3 weeks. Reproducibility of the evaluation was high. To breed high-yield lines suitable for cultivation in relatively cold regions, evaluation using a low soil temperature testing device is insufficient. Subsequent evaluation is necessary of the yield of the selected lines by means of early planting in the field.

Keywords : Low soil temperature, Low temperature tolerance, Rooting, Sweetpotato.

緒言

これまで我が国におけるサツマイモの大規模な経済栽培は、関東北部の干しいも（蒸切干）生産地周辺が北限と見なされてきた。しかし、近年は北海道でのサツマイモ栽培が注目を集め、栽培地域が急速に拡大をみせるようになったことに伴い、道立の試験研究機関・普及機関での品種比較試験等の取り組みが始まっている。また、東北地方でも販売目的のサツマイモ栽培が広まりつつある。比較的冷涼な地域で栽培されたサツマイモは、収量やでん粉含有率が低下する傾向があるものの、加熱調理後の糖度が高く甘味の強いことが確認されており、これは有利な点と考えられる（高濱ら、2013）。

サツマイモは中南米の熱帯地域が原産とされ、人類の栽培により温帯地域にも順応してきたとはいえ、さらに冷涼な地域での栽培には低温耐性の向上が重要である。また、干しいも生産地では無マルチ栽培が多くみられるが、マルチ被覆栽培より地温が低く推移する傾

向があるため（藏之内ら、2010）、より低地温に遭遇しやすいと考えられる。

サツマイモ苗の植え付け後の生育と温度の関係について、いくつか報告がなされている。山崎（1950）は、15℃が発根の限界温度であり、25～30℃が適温であると述べている。また、中谷ら（1986）は、13℃から 40℃まで 10 段階の地温条件でサツマイモ品種「沖縄 100 号」の苗の発根を調査し、13℃ではほとんど発根がみられず、16℃では僅かな発根を認めた。さらに中谷ら（1989）は、サツマイモ苗の発根に及ぼす地温の影響を、低温区として 18℃の地温で 1 週間、限界低温区として 15℃の地温で 5 週間、それぞれ栽培し調査した。その結果、両温度区で「農林 1 号」と「ミナミユタカ」の発根能力が高く、「沖縄 100 号」はそれらより劣るなど、明らかな品種・系統間差が認められた。また、15℃では 5 週間後でも塊根の形成は全く観察されず、生育限界に近い温度であったとも述べている。

サツマイモの低温耐性育種についての知見は海外も含めて未だ多くはないものの、我が国では梅村（1990）

および小中原・梅村 (1996) の交配育種による作出、鹿児島バイオ研 (2001) の細胞選抜による作出および Kasukabe et al. (2006) の遺伝子組み換えによる作出などが報告されている。藏之内ら (2007) によれば、西那須野に設置したやや低地温条件の圃場では、梅村 (1990) および小中原・梅村 (1996) が低温耐性系統として選抜した「S1-14」の塊根肥大が早く、「ベニアズマ」がこれに続き、さらに「沖縄 100 号」の順であった。なお、その後、筆者らは「S1-14」の交配後代から改良系統の「00LT01LS3」(以下、「L01LS3」) を育成した (Kuranouchi et al., 2008)。

筆者らは、特に植え付け後から生育前半における低温が、発根の抑制などから生育停滞を引き起こし、収量の低下をもたらすことに対する耐性の獲得に注目しており、以下で述べる低温耐性とは、このような特性を指すこととする。

先述のような冷涼な気候の地域・栽培条件におけるサツマイモ栽培の拡大に備え、筆者らは冷涼条件にも適応するサツマイモ系統の選抜を 2001 年から進めてきた。まず、グロスチャンバーを用いた水耕検定法や低地温検定装置による低温耐性検定法を検討しながら (Kuranouchi et al., 2008)、農研機構次世代作物開発研究センターが保有する 1500 点あまりのサツマイモ遺伝資源からのスクリーニングを開始した。さらに、検定結果から有望と考えられた品種系統間の交配種子からの低温耐性選抜を、屋内検定に加えて圃場試験も実施しながら進めてきた。

本研究では、屋内でのサツマイモ低地温検定装置を用いた低温耐性検定法の構築や、低温耐性評価への適応の可能性を論じることとした。さらに、評価に用いる標準品種等を選定し、評価に最適な地温・栽培期間の

検討を行った。さらに、圃場での白黒マルチ早植え栽培試験での収量との関係を多数の品種・系統を用いて調査したので、それらの結果を報告する。

材料および方法

1. 供試したサツマイモ品種・系統について

約 4 か月の栽培期間の平均地温 (深さ 10 cm) が、サツマイモの育種を実施している農研機構谷和原畑圃場 (茨城県つくばみらい市) よりも 2.4℃ 程度、栽培期間の前半の約 2 か月間では 3.8℃ 程度低い西那須野圃場 (栃木県那須塩原市) で、2002 年から 2006 年にかけてサツマイモ品種・系統を毎年 10 材料程度の規模で供試して現地試験を実施した (藏之内ら, 2007)。その結果を参考に、青果用品種「ベニアズマ」を標準品種とし、「S1-14」および「L01LS3」を低温耐性強の系統の候補として供試した。また、さらに Kuranouchi et al. (2008) での結果も加味し、「沖縄 100 号」を低温耐性弱の系統の候補として供試した。

低温耐性系統の選抜には、上記の「S1-14」や「L01LS3」のような低温耐性の期待できる系統に、青果用や加工用の育成品種 (例えば「ひめあやか」、「パープルスweetロード」、「クイックスweet」など) を交配して得られた後代を供試した。

2. 低地温検定装置の概要

本装置は冬季用に加温設備のあるガラス室内に設置した。プラスチック製の大型バット (内寸 長さ 85 cm × 幅 55 cm × 高さ 20 cm) に水を満たし、投げ込み型冷却装置 (オリオン製キャリークール LPA2-J) の冷却コイル部分を水中に埋没させて水を冷却し、市販の小型水中ポンプ (レイシー製水陸両用ポンプ RSD-40、流量

Fig. 1. Low soil temperature testing device.

Fig. 2. Illustration of the method of the plantation.

は 40 L/分) を用いて水を循環させた。さらに、アルミニウム製容器 (長さ 40 cm × 幅 43 cm × 高さ 15 cm, 板の厚み 2 mm) に市販の園芸培土 (「くみあいニッピ園芸培土 1 号」, N-P-K = 200-2500-200 mg/L) を約 18 L 入れ、適宜加水して栽培に用いた。蔓は、アルミニウム容器の壁面から約 1 cm 内側に、2 ~ 3 節分が埋まるように、深さ 5 cm 程度、約 4 cm 間隔で植え付けることとした。また、植え付けた蔓と同様に、地温の測定のため記録式温度計 (T&D 社製 TR-52S) のセンサーをセットし、深さ 5 cm の地温を 30 分間隔で測定した。この温度が目的の値になるように、冷却装置の設定温度を調整した。同時に、地下部の生育域と地上部の生育域付近の温度差を知るため、地表部の株元にも同様のセンサーをセットし、地表温を測定した。植え付け後、過度の乾燥防止や、地上部と地下部との温度差を少なくする目的でポリエチレンフィルムにより全体を覆った。なお、装置の外観を Fig. 1. に、植え付け方法の模式図を Fig. 2. に示す。

3. 低地温検定装置を用いたサツマイモの低地温耐性評価の検討

低地温検定装置を用いた低地温耐性の評価にあたり、サツマイモの育苗をガラス室内の苗床または鉢で実施し、随時蔓の採取に用いた。蔓は先端部を用い、重量 5 g 前後で葉数 3 ~ 4 枚を目安として調整した。蔓先の植え付け直前に、重量と葉数を調査した。各区の個体数は 2 とし、1 検定装置当たり最大で 20 区を設置した。検定装置は供試数により最大 3 台まで稼働させた。

地温の試験については、中谷ら (1989) の結果を参考に、14℃、17℃および 20℃に設定し、1. で述べた標準品種・系統の候補を用いて 2010 年に 5 回繰り返して実

施した。栽培期間の試験については 2 および 4 週間に設定した。1. で述べたような標準品種・系統に加え、青果用品種の「高系 14 号」と「パープルスイートロード」を用いて 2007 年に実施した。なお、栽培期間の試験以外では、栽培期間は 3 週間を基本とした。低温耐性系統の評価は、地温 17℃で栽培期間 3 週間とした。

検定装置を用いた栽培後、根を切らないように注意しながら蔓全体を掘り出し、丁寧に土粒を除去し、総重、葉数、発根数 (約 2 mm より長いものを調査し、側根は数に含まない) および根重を調査した。さらに、総重と葉数について、栽培期間中の増加率を算出した。これらの結果から、品種・系統の低地温耐性を評価した。

4. サツマイモの圃場栽培による低温耐性の評価

サツマイモ品種・系統の、冷涼条件圃場での生産力を評価するため、2010 年から 2014 年にわたって谷和原畑圃場で早植え栽培試験を実施した。供試品種・系統には、1. で述べたような標準品種・系統の他、交配で得られた後代から選抜された十数系統を毎年用いた。できるだけ地温の低い条件で栽培するため、地温の上がりにくい白黒マルチ畦被覆で早植え栽培を実施した。試験区は畦間 0.7 m, 株間 0.3 m, 1 区 32 株 (4 畦 × 8 株) で 2 反復とした。施肥量は化成肥料 3-12-10 を 4 kg/a とした。植え付けは標準栽培よりも 2 週間ほど早い 4 月下旬、収穫は標準栽培よりも 6 週間ほど早い 8 月下旬とした。圃場の畦には、深さ 10 cm に温度ロガー (マクセルエンジニアリング製 TR-1MC) を設置し、地温を記録した。収穫した塊根のうち、50 g 以上の塊根の重量を重いも重とした。低地温検定の結果は 17℃で 3 週間の栽培期間でのものを用い、早植え栽培試験の結果と比較した。

Fig. 3. Soil temperature and soil surface temperature of low soil temperature testing device.
Date: 2014.11.11 (rainy day), 2014.11.14 (fine day).
Preset temperature: 17°C.

Fig. 4. Number of roots and root weight of three varieties and lines of sweetpotato after 3 weeks of cultivation under low soil temperature conditions in 2010.
Vertical bars indicate the standard error.

結果および考察

1. 低地温検定装置の温度制御

Fig. 3. に雨天時と晴天時の地温の推移例（設定地温 17°C）を示した。雨天時は、地温と地表温ともに安定して推移した。一方、晴天時の 12 時前後は地表温が 30°C 以上になる時間帯がみられたが、地温は安定して推移した。2010 年以降繰り返して低地温検定を実施したが、17°C に設定した場合では、平均地温は設定の +1 ~ -0.5°C の範囲に概ね収まっていた。一方、地表温は日射により変化するが、栽培期間中の平均値で地温より 4 ~ 7°C 程度高くなった。人工気象器内と異なり、本報告のように室温を制御しない方法では、地表温の制御は難しいと考えられる。しかし、このように比較的

簡便な装置ではあっても、かなり正確に地温については制御できており、低地温検定には問題なく使用できると考えられた。

2. 低地温耐性評価に適する温度・栽培期間の検討

Fig. 4. に地温の試験の結果を示した。のべ 5 回の発根数の平均値でみた場合、供試した 3 つの標準品種・系統の候補、すなわち「ベニアズマ」、「L01LS3」および「沖縄 100 号」の差は 17°C で最も明瞭であると考えられた。14°C では「ベニアズマ」と「L01LS3」の差が明瞭でなく、一方 20°C では「ベニアズマ」と「沖縄 100 号」との差が明瞭でなかった。根重でみた場合でも 17°C が 3 品種・系統の区分に最も適していた。また、全重増加率でみた場合、14°C では「ベニアズマ」と

Table 1. Number of roots and root weight after 2 or 4 weeks cultivation under low soil temperature (17°C) conditions.

Cultivar / line	Number of roots / plant		Root weight (g) / plant	
	2 weeks	4 weeks	2 weeks	4 weeks
Beniazuma	4.5	11.5	0.1	1.9
S1-14	11.5	35.5	0.2	6.7
Okinawa-100	1.0	27.0	0.0	0.8
Kokei-14	6.5	25.5	0.1	2.7
Purple sweet lord	1.0	20.5	0.1	1.5
Analysis of variance	*	NS	NS	*

*: Significant at the 5% level.
 NS: No significance.

「L01LS3」の差が明瞭でなく、17°Cまたは20°Cが区分に適していた(図は省略)。以上を総合すると、17°Cで低地温耐性を調査することにより、低地温耐性弱として「沖縄100号」、耐性中として「ベニアズマ」、耐性強として「L01LS3」が区分でき、それぞれ標準品種・系統として用いうると考えられた。なお、低地温検定装置によるこれら3品種・系統の低地温耐性の評価は、5回の試験とも概ね「沖縄100号」が弱、「L01LS3」が強で安定しており、再現性は高いと考えられた。本報告の低地温耐性の評価については、上述の発根数、根重、全重増加率の他に葉数増加率を加味して総合判定したが、どの項目を重視して選抜するのが効率的であるかについては今後の検討課題である。

一方、栽培期間についてであるが、2週間へ短縮した場合と4週間へ延長した場合の結果をTable 1.に示した。2週間では、発根数では5%水準で有意差が認められたものの、根重では有意差が認められなかった。4週間では、発根数で有意差が認められず、根重のみで5%水準で有意差が認められた。また、発根数が多数となり、根が隣接個体間で絡まったり、根を土壌中から綺麗に掘り出す作業が困難になったりすることが観察された。以上から、栽培期間は3週間が適当であると判断した。なお、Fig. 5.に発根状況の参考として、18°Cで3週間栽培後の植物体の状況を示したが、「S1-14」で発根や伸長が進んでいることが見てとれる。発根については、特定の深さに偏ることはなく、低地温下の評価は問題なくできると考えられた。

以上から、低地温耐性の調査に適する温度・栽培期間として、17°Cの地温で3週間が適当であると結論された。なお、本装置のように比較的安価な資材で簡便に低地温耐性を評価できるツールは、広い場面での活用が期待できよう。

Fig. 5. Sweetpotato vines after 3 weeks of cultivation under low soil temperature (18°C) conditions.

A: Beniazuma, B: S1-14, C: Okinawa-100.

3. 種々の品種・系統を用いた低地温耐性の評価と早植え栽培での生産力

低地温検定装置による低地温耐性の評価結果が、低地温条件の上いも収量とどの程度の関連性があるかを確認するため、上記の検定条件により2010年から2014年にわたって遺伝資源系統や育成品種・系統を用いて低地温耐性を評価し、その結果を圃場での白黒マルチ畦被覆による早植え栽培での上いも収量と比較した。植え付け後3週間の平均地温は、2014年を例にとると、早植え栽培で18.1°C(4月24日植え付け)と、標準栽培での21.6°C(5月20日植え付け)よりも3.5°C低く、より生育限界に近い地温であった。Fig. 6.には、低地温検定での根重・発根数と圃場での早植え栽培での上いも重との比較の例を示した。このように、各試験年次とも、両者の間には明確な相関関係がみられなかった。これは、低地温検定での発根数と圃場での早植え栽培での上いも数との間でも同様であった。低地温条件下の発根と収量性との間に、どのような遺伝的背景があるのかは、今後の検討が必要であるが、低地温検定の評価だけで、早植え栽培に適する多収系統を見出すことは、やはり困難であると考えられる。すなわち、低地温検定で低地温耐性を評価し、さらに、低地温耐性に優れる系統について圃場での早植え栽培で収量調査を行い、両面が優れた有望系統を絞り込んでいく必要があると考えられた。

上記の選抜以後、現在までに育成された系統の中に

Fig. 6. Comparison of root weight^A and number of roots^B in selected lines under low soil temperature conditions and their root yield in an early planting trial in 2013.

A: Number of roots generated under low soil temperature condition (17°C, 3 weeks).

B: Weight of roots generated under low soil temperature condition (17°C, 3 weeks).

C: Root yield of early planting in an experimental field.

は、早植え栽培で一般的な青果用品種「ベニアズマ」より明らかに多収性を示す系統が見いだされ(藏之内ら, 2014), 現在は北海道等の冷涼地での試作を実施中である。一方、今まで育成された青果用や加工用品種の中に、低温耐性が高いものが含まれる可能性があるため、前期の低地温検定による評価を開始している。

謝 辞

本報告の各試験の推進にあたり、材料の養成や圃場試験では谷和原業務第2科職員ならびに同科契約職員の各位に、各調査にあたっては次世代作物開発研究センター畑作物研究領域カンショ・資源作物育種研究ユニット契約職員の各位に、それぞれ多くのご協力をいただいた。ここに記して厚く謝意を表する。

引用文献

- 鹿児島バイオ研. 2001. 細胞選抜による低温耐性サツマイモの作出法 (研究成果情報) - <https://agriknowledge.affrc.go.jp/RN/3010012213> (2018年8月7日確認).
- Kasukabe, Y., He, L., Watakabe, Y., Otani, M., Shimada, T., Tachibana, S. 2006. Improvement of environmental stress tolerance of sweet potato by introduction of genes for spermidine synthase. *Plant Biotech.* 23: 75-83.
- 小中原錦, 梅村芳樹 1996. 耐冷性サツマイモの簡易育種法. 育種・作物学会北海道談話会会報 37: 128-129.

藏之内利和, 熊谷亨, 黄川田智洋, 大同久明, 中谷誠 2007. 地温の異なる栽培地におけるサツマイモ生育の品種・系統間差 (講演要旨). 日作紀 76 (別1): 300-301.

Kuranouchi, T., Kumazaki, T., Nakamura, Y., Ohara-Takada, A., Kumagai, T. 2008. Rapid evaluation method for low temperature tolerance of sweetpotato lines. *Proc. 3rd China-Japan-Korea workshop sweetpotato.* 25-27.

藏之内利和, 中村善行, 高田明子, 田宮誠司, 中谷誠, 熊谷亨 2010. サツマイモ蒸切干加工用品種の収量・品質関連形質に及ぼすマルチ被覆および気象の影響. 日作紀 79: 491-498.

藏之内利和, 高田明子, 石黒浩二, 田宮誠司, 熊谷亨, 片山健二 2014. 低地温装置での発根等によるサツマイモ系統の選抜と低温条件圃場での塊根生産力 (講演要旨). 根の研究 23: 125.

中谷誠, 小柳敦史, 渡辺泰, 古明地通孝 1986. サツマイモ苗の発根に及ぼす地温の影響 第1報 苗の発根の最適地温並びに高地温が発根と根の生理的・形態的特性に及ぼす影響. 日作紀 55: 208-216.

中谷誠, 小柳敦史, 渡辺泰, 古明地通孝 1989. サツマイモ苗の発根に及ぼす地温の影響 第2報 苗の発根最適地温並びに低地温での発根能力の品種間差異. 日作紀 58: 35-41.

高濱雅幹, 野田智昭, 植野玲一郎, 宗形信也 2013. 北海道産及び他県産サツマイモの食味及び澱粉糊化特性の比較. 園学研 12 (別1): 234.

梅村芳樹 1990. 耐低温性サツマイモGR 39-2の母本としての評価. 育種・作物学会北海道談話会会報 30: 15.

山崎肯哉 1950. 東北地方に於ける甘藷の晩植増収に対する苗の大小と植付方法に関する研究. 園学雑 19: 29-38.