ダットンソバ種子への吸水処理が発芽および成長に与える影響

中井勇介*・渡辺慎一

国立研究開発法人 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
園芸研究領域 839–8503 福岡県久留米市御井町 1823–1

Effect of Imbibed Seeds Treatment on Germination and Growth in Tartary Buckwheat (*Fagopyrum tataricum* Gaertn.)

Yusuke NAKAI* and Shin-ichi WATANABE

*Kyushu Okinawa Agricultural Research Center (KARC), National Agriculture and
Food Research Organization (NARO), 1823–1 Miimachi, Kurume, Fukuoka 839–8503, Japan*

Abstract

Sprouts are expected to be a promising crop for closed plant factories that use artificial light, because of the fact that sprouts can be grown using only freshwater and low-light conditions. Therefore, we focused on Tartary buckwheat (*Fagopyrum tataricum* Gaertn.), which has high nutritive value and is currently uncultivated as a sprout for industrial or commercial purposes. This study aimed to understand the effects of imbibition time and water temperature on germination and growth of Tartary buckwheat sprouts. The effects of imbibition time and water temperature on seed germination were evaluated by measuring variations in the coefficients of uniformity, days of germination, and germination rate. The study utilized two imbibing conditions. First, the seeds were imbibed in tap water and maintained at 25 °C for various durations (1, 3, 6, 8, 12, and 24 hr), leaving some seeds untreated as a control (0 hr). Secondly, the seeds were imbibed in water of various temperatures (4, 16, 20, 25, and 30 °C) for 3 hr, leaving some seeds were not imbibed in water as a control and to measure the coefficients of uniformity, days of germination, and germination rate. As a result, the coefficients of uniformity and days of germination of the seeds were improved by the imbibing treatment consisting of a water temperature of 25 °C for 3 hr compared to the control. Furthermore, hypocotyl length and fresh weight of the sprouts tended to increase when an imbibing treatment was used in comparison to the control. On the other hand, the germination rate and dry weight of the imbibed seeds were not significantly different from those of the control seeds. Thus, our results suggest that imbibing of seeds could be effective for promoting germination and growth in Tartary buckwheat sprouts.

Keywords: Artificial light, closed plant factory, coefficients of uniformity, hypocotyl, sprouts

緒 言

2019 年 1 月 20 日受付

2019 年 7 月 10 日受理

*Corresponding author: Yusuke Nakai
(nakai727@affrc.go.jp)

人工光型植物工場は高度な環境制御を行うことができるため、葉菜類など植物の計画的な周年栽培が可能である。一

方で、光源や温度、湿度などの環境制御に必要な電力の消費量が多いことから、省電力で栽培可能な作物の選定やそれらの栽培技術の開発が求められている。スプラウト類は光要求量が少なく水のみで栽培可能なことから、ランニングコストの低減化や光強度が栽培の律速要因となる人工光型植物工場での栽培に適合すると考えられる。

従来のかいわれ型スプラウトはかいわれ大根などアブラナ科の野菜が主であり、ビタミン類や機能性成分の含有量の高さが注目されている¹⁻⁵⁾。特に消費者の健康意識が向上していることから、生活習慣病などの予防効果が期待できる機能性成分を含有する作物のスプラウト生産技術の開発が望まれている。そこで本研究では、商業用にスプラウトとして栽培されておらず、動脈硬化や脳卒中などの予防効果が報告されているルチンや抗酸化作用が報告されているアントシアニンなどの機能性成分を含有するタデ科ソバ属のダッタンソバ (*Fagopyrum tataricum* Gaertn.)⁶⁾ に着目した。ダッタンソバスプラウトに関する先行研究として、光照射方法と機能性成分の蓄積に関する研究⁷⁾ や蛍光灯などの人工光源を用いて栽培すると子葉が展開せずに種皮が残存し成長を阻害することが報告されている⁸⁾。一方、人工光型植物工場において、ダッタンソバの発芽に適した環境条件については解明されていない。品目を問わずスプラウト類を生産するには、発芽率や発芽の斉一性の高い栽培技術の開発が重要になる。ダイズでは、種子に吸水処理を行うと発芽率や初生葉発生が良好になると報告されている⁹⁾。そこで本報告では、人工光型植物工場においてダッタンソバスプラウトの生産技術を開発するため、ダッタンソバの発芽に好適な種子への吸水処理方法の検討を行った。

材料および方法

1. 供試品種および栽培条件

本研究は農研機構九州沖縄農業研究センター園芸研究領域（福岡県久留米市）の人工光型植物工場内で行った。供試品種は農研機構育成品種「満天きらり」（中原採種場株式会社）を用いた。播種用の培地は Kitazaki ら⁸⁾ や渡辺らの報告¹⁰⁾ を参考に、約 0.0125 g ml^{-1} に調整したバージンパルプ培地（商品名：エコ培地、日本スプラウト協会）を 25 穴セルトレイ（1 穴 50 mm 角×深さ 50 mm）の 1 セルに 50 ml 充填し形成したものを用いた（培地の平均含水量 9.58 g）。

栽培は渡辺ら¹⁰⁾ の報告を参考に以下の条件で行った。種子表面を水道水により約 3 分間流水洗浄した後、水温 25℃ の微酸性電解水（微酸性電解水生成装置 PURESTER ミ

ュークリーン II、森永乳業（株））に 1 時間浸漬し殺菌処理を行った。種子への吸水処理は約 4000 ml の水道水を用いて各試験の所定の条件で行った。種子の吸水処理中は遮光し各処理区で設定した水温が $\pm 0.5^\circ\text{C}$ の範囲内になるよう維持した。種子への吸水処理時間は、微酸性電解水による 1 時間の殺菌処理を含めた時間とした。播種は種子への吸水処理終了後、直ちに行った。また、流水洗浄および殺菌処理を行わず、室温 25℃、暗条件の人工光型植物工場内の栽培室に 24 時間静置した未吸水処理区（対照）を設けた。播種後の栽培は、温度 25℃、相対湿度 75%、セルトレイ上面の光合成有効光量子束密度 (PPFD) 約 $70 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ の条件で 8 日間行った。灌水は播種 24 時間経過後から栽培 7 日目まで、1 日 2 回（9 時および 21 時）、5 分間、底面給水を行った。光源は Hf 三波長（昼白色）蛍光灯（FHF 32EX-N-PD、東芝ライテック（株））および子葉の展開を促進するため遠赤色蛍光灯（FL20S-FR-74:FR-FL、東芝ライテック（株））を併用照射した。

2. 種子への吸水処理時間が発芽に与える影響

ダッタンソバ種子を水温 25℃ で 1 時間、3 時間、6 時間、8 時間、12 時間および 24 時間吸水処理する区ならびに未吸水処理区（対照）を設けた。1 時間の区は 25℃ に調整した微酸性電解水による殺菌処理のみとした。また、各区間で播種が同時になるよう、種子への吸水処理の開始時間を調整した。発芽の評価は Ranal and De Santana¹¹⁾ や中村ら¹²⁾ の報告を参考に発芽速度の指標である平均発芽日数、発芽勢の指標である斉一発芽係数、発芽力の指標である最終発芽率を下記に示した計算式により求めた。平均発芽日数は播種した日数と調査日ごとの発芽種子数から算出した。斉一発芽係数は播種日から 1 日ごとに発芽数を計測し 8 日間の調査結果から算出した。最終発芽率は栽培試験の最終日である 8 日目の総発芽数から計算した。本試験では、1 セル当りにダッタンソバ種子を 35 粒播種し、5 セル分の調査を 1 反復として異なる播種日で 3 回繰り返した（1 区合計 175 粒、3 反復）。

$$\cdot \text{平均発芽日数 (GD)} = \Sigma(d \times n) / \Sigma n$$

$$\cdot \text{斉一発芽係数} = \Sigma n / \Sigma ((GD - d)^2 \times Xi)$$

$$\cdot \text{最終発芽率} = (\Sigma Xi / N) \times 100$$

d: 播種後日数, n: d 日目における発芽数

Xi: i 日目の発芽種子数, N: 総播種数

3. 種子への吸水時の水温がダッタンソバの発芽に与える影響

水温を 4℃、16℃、20℃、25℃および 30℃に調整し、3 時間種子に吸水処理する区を設けた。発芽は上記同様に斉一発芽係数、平均発芽日数、最終発芽率を評価した。本試験は 1 セル当りにダッタンソバ種子を 35 粒播種し、5 セル分の調査を 1 反復として異なる播種日で 3 回繰り返した。

4. 種子への吸水処理が8日後のダットンソバプラウトの成長に与える影響
未吸水処理区（対照）および水温25℃で3時間種子に

吸水処理した後に栽培する区を設け、ダットンソバプラウトの下胚軸長、新鮮重、乾物重を測定した。下胚軸長は発芽したすべての個体をノギスで測定しセルごとに平均値を算出

Fig. 1 Changes in the germination of Tartary buckwheat seeds for several imbibition times. Changes in the coefficients of uniformity (A), days of germination (B), and germination rate (C) of Tartary buckwheat seeds. Tartary buckwheat seeds were imbibed at 25 °C for various durations (1, 3, 6, 8, 12, and 24 hr). Ctrl indicates control that was not applied imbibition treatment. Vertical bars indicate SD. Different letters indicate significant differences among treatments ($P < 0.05$, Tukey HSD test), and n.s. indicates no significant difference. Experiments were performed at least three times.

Fig. 2 Effect of water imbibing temperature on germination of Tartary buckwheat seeds. Tartary buckwheat seeds were treated at various temperatures (4, 16, 20, 25, and 30 °C) for 3 hr in tap water, to measure coefficients of uniformity (A), days of germination (B), and germination rate (C). Ctrl indicates control that was not applied imbibition treatment. Vertical bars indicate SD. Different letters indicate significant differences among treatments ($P < 0.05$, Tukey HSD test), and n.s. indicates no significant difference. Experiments were performed at least three times.

した。新鮮重および乾物重は地上部（子葉および下胚軸）を微量電子天秤でセルごとに測定した後、総発芽個体数で除し1個体あたりの重量を算出した。乾物重は新鮮重測定後の植物体を80℃に設定した恒温乾燥機で48時間処理した後に測定した。本試験は、1セルにダットンソバ種子を30粒播種し、5セル分の調査を1反復とした。また、異なる播種日で3回繰り返し試験を行った。

5. 統計解析

Fig. 1 および Fig. 2 のデータは Tukey 法により検定した。Fig. 3, Fig. 4 について F 検定を行ったところ、Fig. 3 は不等分散であったことから Welch's *t*-test により解析した。Fig. 4 は等分散であったことから Student's *t*-test により解析した。割合で示した結果は Arc-sin 変換後に Tukey 法により解析を行った。有意差検定は 5% 水準とした。

結果および考察

1. 種子への吸水処理がダットンソバの発芽に与える影響

未吸水処理区（対照）ならびに1時間、3時間、6時間、8時間、12時間および24時間種子に吸水処理を行った区の斉一発芽係数、平均発芽日数、最終発芽率の結果を Fig. 1 に示した。斉一発芽係数は未吸水処理区（対照）の0.35と比較して、1時間の区で1.6倍、3時間、6時間、8時間、12時間、24時間の区で約2倍に上昇した。一方で、種子に吸水処理を行った6区間に有意差はみられなかった (Fig. 1A)。平均発芽日数は、未吸水処理区（対照）の2.7日と比較して、3時間、6時間、8時間、12時間、24時間の区で約0.57日有意に短縮された。一方で、1時間の区と未吸水処理区（対照）に有意差はみられなかった (Fig. 1B)。最終発芽率は未吸水処理区（対照）の72.0%と比較して、すべての区で有意差はみられなかった (Fig. 1C)。次に、未吸水処理区ならびに水温4℃、16℃、20℃、25℃、30℃で3時間種子に吸水処理を行った区の斉一発芽係数、平均発芽日数、最終発芽率の結果を Fig. 2 に示した。斉一発芽係数は、未吸水処理区（対照）の0.26と比較して、25℃の区で3.69倍に上昇し最大となった。一方で、30℃の区は25℃の区と比較すると0.64倍に減少した。また、4℃の区と未吸水処理区（対照）に有意差はみられなかった (Fig. 2A)。平均発芽日数は未吸水処理区（対照）で3.0日となり、4℃の区と比較して有意差はみられなかった。また、16℃、20℃、25℃、30℃の区は平均2.42日となり、未吸水処理区（対照）および4℃の区と比較して有意に短縮された (Fig. 2B)。最終発芽率は未吸水処理区（対照）の81.4%と比較して、すべての区で有意差はみられなかった (Fig. 2C)。

イネやトウモロコシ、オオムギなどデンプン性種子の発芽が

Fig. 3 Effect of seed imbibition treatment on hypocotyl length in Tartary buckwheat sprouts.

Tartary buckwheat seeds were treated with water (25℃) for 3 hr and grown under white light ($70 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) for 8 days to measure the effect on hypocotyl length and dispersion of hypocotyl length. This data was analyzed in accordance with boxplot using 125 plants data (Ctrl) and 135 plants data (Imbibition). The cross symbol indicates averages of the data. Ctrl indicates control that was not applied imbibition treatment. Asterisks indicate significant differences among treatments ($P < 0.05$, Welch's *t*-test). Experiments were performed at least three times.

促進される要因の一つとして、吸水を端緒としたデンプン分解酵素の α アミラーゼの活性化¹³⁾ やアブシシン酸 (ABA) 代謝酵素の活性化、ジベレリン (GA) などの植物ホルモンの関与が知られている¹⁴⁻¹⁶⁾。トマトでは種子に吸水処理を行うと、約12時間後に細胞壁の軟化に関与する遺伝子の発現が誘導され、シロイヌナズナでは種子への吸水処理を行うと3時間、6時間、12時間後にジベレリン誘導性を示す遺伝子の発現が誘導し、発芽の準備が開始される¹⁷⁾。ダットンソバもデンプン性種子に分類されることから、種子への吸水処理により平均発芽日数が向上した要因として、GAによる α アミラーゼの活性化や ABA の代謝などが促進された可能性が推察された。また、一般的に酵素には至適温度が存在する。発芽

Fig. 4 Effect of imbibing treatment of seed on fresh and dry weights of Tartary buckwheat sprouts.

Tartary buckwheat seeds were treated with water (25 °C) for 3 hours and grown with white light ($70 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) for 8 days in order to measure the effect on plant fresh (A) and dry weight (B). Fig. 4A and 4B were analyzed in accordance with boxplot using 125 plants (Ctrl) and 135 plants (Imbibition). The cross symbol indicates the average of each condition. Ctrl indicates control that was not applied imbibition treatment. Asterisks indicate significant differences among treatments ($P < 0.05$, Student's *t*-test), and n.s. indicates no significant difference. Experiments were performed at least three times.

適温は作物ごとに異なるため¹⁸⁻²⁰⁾, 作物の生産において発芽適温を解明することは非常に重要な知見になると考えられる。これまでに、ダットンソバ種子の発芽を改善するための吸水処理に好適な水温やその処理時間については、詳細な検討は行われていなかった。人工光型植物工場においてダットンソバ種子の発芽を促進できる好適な種子への吸水水温は20℃～25℃付近にあり、30℃を超えると斉一発芽係数が低下することおよびダットンソバを発芽させる際は、播種前に3時間～24時間吸水処理を行うと斉一発芽係数の向上や平均発芽日数を短縮できることを解明した本研究成果は、人工光型植物工場におけるダットンソバスプラウトの生産技術を開発する際に有用な知見になると考えられる。

2. 種子への吸水処理がダットンソバスプラウトの成長に与える影響

水温25℃で3時間種子に吸水処理を行った後に栽培する区および未吸水処理区(対照)の下胚軸長、新鮮重、乾物重の結果をボックスプロットにより示した(Fig. 3, 4)。処理区の下胚軸長の平均値は、未吸水処理区(対照)の74.1 mmと比較して7.5 mm有意に増加した。次に処理区および

未吸水処理区(対照)の下胚軸長の分散を計算した。その結果、処理区は1.09、未吸水処理区は4.44となり、種子に吸水処理を行うことで下胚軸長の分散は縮小された。また、未吸水処理区(対照)の第3四分点と第1四分点の差(四分位範囲)は14.3 mmであったのに対し、処理区の四分位範囲は8.0 mmであった(Fig. 3)。処理区の新鮮重の平均値は0.08 gであり、未吸水処理区(対照)と比較して0.006 g有意に増加した。一方で、F検定により試験区間の新鮮重の分散を比較したところ有意差はみられなかった。また、未吸水処理区(対照)の最小値と第1四分点は同一の値であった(Fig. 4A)。最後に、処理区の乾物重は未吸水処理区(対照)と比較して、平均値および分散に有意差はみられなかった(Fig. 4B)。多くの種子内部にはデンプンや脂質などが貯蔵されており、発芽の促進に用いられる。トマトでは、細胞壁多糖類であるガラクトマンナン(ガラクタマンナン)の分解に関与するタンパク質の遺伝子発現が吸水により誘導されることで、発芽が促進されると考えられている^{21, 22)}。ダットンソバにおいても種子に吸水処理を行なったことで、早期に発芽が促進された結果、下胚軸の長さが増加したと推察された。また、多くの植

物において、光合成を開始して間もない頃の芽生え期は水分を吸収し種子や子葉に貯蔵された養分を代謝することで成長を行っている²³⁾。ダッタンソバ種子に吸水処理を行うと新鮮重は有意に増加した一方で、乾物重には有意差がみられなかった要因として、栽培8日目のダッタンソバは光合成よりも種子や子葉に貯蔵された養分を主に利用して成長している可能性が考えられた。

摘 要

スプラウト類は水と弱光で栽培可能なことから、人工光型植物工場での栽培に適合する可能性が高い。そこで本研究では、商業的にスプラウトとして生産されていない作物種からダッタンソバ「満点きりり」を選定し、種子への吸水処理（水温、時間）がスプラウト生産に重要となる発芽やダッタンソバスプラウトの成長に与える影響を調査した。その結果、未吸水処理区（対照）と比較して20℃～25℃の水道水で種子を3時間～24時間吸水処理することで、斉一発芽係数、平均発芽日数、下胚軸長、新鮮重が向上した。さらに、下胚軸長の分散が縮小された。一方で、最終発芽率や乾物重には影響はみられなかった。以上の結果から、人工光型植物工場においてダッタンソバスプラウトを生産する際は、20℃～25℃の水道水で種子を3時間～24時間吸水処理することで、栽培期間の短縮や発芽の斉一性の向上が望めると考えられる。

謝 辞

本研究遂行にあたり（国研）農研機構九州沖縄農業研究センター園芸研究領域の大和陽一博士から研究に関するご助言をいただいた。また、松尾征徳氏、永松万由美氏、西田道子氏にダッタンソバスプラウト栽培および研究調査のご協力をいただいた。ここに深謝の意を表します。

引用文献

- 1) Takaya Y, Kondo Y, Furukawa T, Niwa M. Antioxidant constituents of radish sprout (Kaiware-daikon), *Raphanus sativus* L. J. Agric. Food Chem. 51: 8061–8066. 2003.
- 2) Papi A, Orlandi M, Bartolini G, Barillari J, Iori R, Paolini M, Ferroni F, Fumo MG, Pedulli GF, Valgimigli L. Cytotoxic and antioxidant activity of 4-methylthio-3-butenyl isothiocyanate from *Raphanus sativus* L. (Kaiware daikon) sprouts. J. Agric. Food Chem. 56: 875–883. 2008.

- 3) Barillari J, Iori R, Papi A, Orlandi M, Bartolini G, Gabbanini S, Pedulli GF, Valgimigli L. Kaiware daikon (*Raphanus sativus* L.) extract: A naturally multipotent chemopreventive. Agent. J. Agric. Food Chem. 56: 7823–7830. 2008.
- 4) 澤井祐典, 沖智之, 西場洋一, 奥野成倫, 須田郁夫, 渡辺慎一. アブラナ科スプラウトのアスכולビン酸含量. 日本食品科学工学会誌. 61: 218–222. 2014.
- 5) 前田智雄, 前川健二郎, 戸田雅美, 大島千周, 角田英男, 鈴木卓, 大澤勝次. ブロッコリースプラウトの生育およびポリフェノール含量に及ぼす補光光質の影響. 植物環境工学. 20: 83–89. 2008.
- 6) Kim SJ, Kawaharada C, Suzuki T, Saito K, Hashimoto N, Takigawa S, Noda T, Matsuura-endo C, Yamauchi H. Effect of natural light periods on rutin, free amino acid and vitamin C contents in the sprouts of common (*Fagopyrum esculentum* Moench) and tartary (*F. tataricum* Gaertn.) buckwheats. Food Sci. Technol. Res. 12: 199–205. 2006.
- 7) Seo JM, Arasu MV, Kim YB, Park SU, Kim SJ. Phenylalanine and LED lights enhance phenolic compound production in tartary buckwheat sprouts. Food Chem. 177: 204–213. 2015.
- 8) Kitazaki K, Watanabe S, Okamoto A, Matsuo M, Furuya S, Sameshima K. Far-red light enhances removal of pericarps in tartary buckwheat (*Fagopyrum tataricum* Gaertn.) sprout production under artificial lighting. Sci. Hortic. 185: 167–174. 2015.
- 9) 久保摩希子, 萩原素之. ダイズ種子の吸水過程の簡便評価法の検討と吸水状態と発芽成長の関係. In: 第230回日本作物学会講演会要旨・資料集. 札幌. 9月4日–5日. 348–349. 2010.
- 10) 渡辺慎一, 松尾征徳, 北崎一義, 鮫島國親, 澤井祐典, 諸岡謙, 篠崎正俊, 田中健一郎, 田中達也, 河野 智謙, 吉田敏. 人工光型植物工場の簡易栽培システムにおける木材パルプ培地でのカイワレダイコン (*Raphanus sativus* L.) の生育および一般生菌数. 植物環境工学. 28: 29–34. 2016.
- 11) Ranal AM, De Santana DG. How and why to measure the germination process? Rev. bras. Bot. 29: 1–11. 2006.
- 12) 中村潤一, 沖陽子, 足立忠司. ツルヨシおよびセイコノヨシの種子発芽特性. 雑草研究. 54: 21–24. 2009.
- 13) Beck E, Ziegler P. Biosynthesis and degradation of starch in higher plants. Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol. 40: 95–117. 1989.
- 14) Kaneko M, Itoh H, Ueguchi-Tanaka M, Ashikari M, Matsuoka M. The α -amylase induction in endosperm during rice seed germination is caused by gibberellin synthesized in epithelium. Plant Phys. 128: 1264–1270. 2002.
- 15) Fincher GB. Molecular and cellular biology associated with endosperm mobilization in germinating cereal grains. Annu. Rev. Plant Physiol.

- Plant Mol. Biol. 40: 305–345. 1989.
- 16) Gubler F, Kalla R, Roberts JK, Jacobsen JV. Gibberellin-regulated expression of a myb gene in barley aleurone cells: evidence for MYB transactivation of a high-pI alpha-amylase gene promoter. *Plant Cell*. 7: 1879–1891. 1995.
 - 17) Ogawa M, Hanada A, Yamauchi Y, Kuwahara A, Kamiya Y, Yamaguchi S. Gibberellin biosynthesis and response during arabidopsis seed germination. *Plant Cell*. 15: 1591–1604. 2003.
 - 18) 川上直人. 特集「時を超えて生きる—休眠のメカニズムとその応用—」種子の休眠・発芽と温度—発芽調節メカニズムの解明をめざして—. 日本緑化工学会. 30: 514–517. 2005.
 - 19) Reynolds T, Thompson PA. Characteristics of the high temperature inhibition of germination of lettuce (*Lactuca sativa*). *Physiol Plant*. 24: 544–547. 1971.
 - 20) Reddy LV, Metzger RJ, Ching TM. Effect of temperature on seed dormancy of wheat. *Crop Sci*. 25: 455–458. 1985.
 - 21) Nonogaki H, Gee HO, Bradford JK. A germination-specific endo-beta-mannanase gene is expressed in the micropylar endosperm cap of tomato seeds. *Plant Phys*. 123: 1235–1246. 2000.
 - 22) Bewleyl JD. Seed germination and dormancy. *Plant Cell*. 9: 1055–1066. 1997.
 - 23) 阿部信之, 橋本良二. 播種時におけるコナラ種子の乾燥が芽生えの発達経過と成長量に及ぼす影響. 日本緑化工学会. 33: 484–491. 2008.