

<平成18年度>

非常食としての利用を目的とした各種スプラウトの成分分析

光 永 伸一郎

(上越教育大学 生活・健康系 (食物学) 助教授)

1. 研究目的

生活習慣病のケモプリベンション (食事による化学予防) の視点から、さまざまなスプラウト (発芽した野菜) が注目されている。また、スプラウトには、種子そのものにはみられない多くの栄養素が含まれる、との報告もある。しかし、食品としてのスプラウトが注目されるようになったのは、ごく最近のことであり、栄養特性のはっきりしないスプラウトがほとんどである。

スプラウトはサラダなどの生食として用いられる場合が多い。よって、そこに含まれる栄養素を、加熱などによる損失なく効率的に摂取することができる。また、種子の状態であれば長期間の保存が可能であり、わずかなスペースと水だけで誰にでも簡単に栽培できることから、災害時における非常食としても有効であると考えられる。

そこで、本研究では代表的なスプラウトに含まれる栄養素について分析を加え、非常食としての有用性を検討する。

2. 研究方法

2.1 実験材料

本実験の材料としては、アブラナ科、タデ科、ゴマ科、イネ科、マメ科に属する種子を用いることとした。これらは、通常のスプラウトに用いられる科のほとんどを網羅しており、良いスタンダードとなりうると考えたからである。まず、それぞれの科に属する数種類の種子を栽培し、生育状

態について検討した。その結果、アブラナ科のマスタード (からし菜 mustard, *Brassica juncea*), タデ科のソバ (buckwheat, *Fagopyrum esculentum*), ゴマ科の白ゴマ (sesame, *Sesamum indicum*), イネ科のライ麦 (rye, *Secale cereale*) が、特に良好な生育を示したため、これらを実験材料として用いることとした。なお、マメ科については、緑豆 (グリーンマッペ mung bean, *Vigna radiata*), レンズ豆 (lentil, *Lens culinaris*), ヒヨコ豆 (chick pea, *Cicer arietinum*), 及び大豆 (soybean, *Glycine max*) の4種を用いることとした。これは同じ科における類似点と相違点を明らかにすることが目的である。これらの乾燥種子とスプラウト (発芽種子) についての分析を行い、発芽に伴う栄養素等の変動を観察した。

なお、試薬については特にことわりのない限り、和光純薬工業の特級試薬を使用した。

2.2 スプラウトの調製

各スプラウトの調製は、以下の要領で行った。白ゴマ、ライ麦、及びマメ科の4種については、まず、種子を蒸留水で数回洗浄した後、植物培養用プラスチック容器 (SANSYO, AGRIPOT) に2層になるように入れ、そこに種子が浸る程度の水を加え、25℃の人工気象装置 (日本医科器械製作所, LPH-200-RDSMP) で一晩吸水させた。浮いた種子を除き、排水した後、さらに2日間、25℃の人工気象装置で発芽させた。マスタードについては、まず、植物培養用プラスチック容器に1 cm 程度の厚さに水栽石を敷き、それが浸る程度

に水を入れた。水栽石上に種子を播き、25℃の人工気象装置で3日間発芽させた。ソバについては、スプラウト栽培容器（大和プラスチック）のネット上に種子を播き、ネットが浸る程度に水を入れ、25℃の人工気象装置で3日間発芽させた。

2.3 アミラーゼ活性の測定

カッターで細かく刻んだスプラウトを50mL遠沈管（IWAKI, 2345-050）にとり、1gに対して4mLの20mM酢酸ナトリウム緩衝液（5mM塩化カルシウムを含む、pH5.3）を加えた後、ホモジナイザー（POLYTRON, Model K）で1分間破碎した。試料をガーゼとガラス漏斗でろ過した後、別の50mL遠沈管に回収し、4℃、9,400 × gで10分間遠心分離した。得られた上清を孔径0.45μmのフィルター（ADVANTEC, DISMIC 25CS045AN）でろ過した後、15mL遠沈管（IWAKI, 2325-015）に回収し、分析用の試料とした⁷⁾。

乾燥種子の場合、白ゴマとマスタードについては、スプラウトと同様の処理を行った。緑豆、レンズ豆、ヒヨコ豆、ライ麦、ソバ、及び大豆については、まず、小型粉碎器（SIBATA, SCM-40A）で種子を粉碎した後、スプラウトと同様のホモジナイザーによる破碎を行った。なお、緑豆、レンズ豆、ヒヨコ豆、及び大豆の乾燥種子については、抽出効率を上げるために、粉碎した種子1gに対して8mLの酢酸ナトリウム緩衝液を加えて試料を調製した。

アミラーゼ活性は、ヨウ素-デンプン反応法を用いて測定した⁶⁾。

ガラス試験管（15 × 105mm）に試料100μLを分取し、これに900μLの基質溶液〔2.7mM塩化カルシウムを含む0.2%デンプン溶液500μL、200mM酢酸ナトリウム緩衝液（pH5.3）100μL、及び蒸留水300μLを混合したもの〕を加えて攪拌し、37℃の恒温インキュベーター（TAITEC,

Personal-11）で保温した。10分後に500μLの反応停止液（50mM塩酸、0.0075%ヨウ素、0.075%ヨウ化カリウム）を加えて攪拌し、反応を停止させた。反応液に等量（1.5mL）の蒸留水を加えて攪拌した後、分光光度計（SHIMADZU, UVmini-1240）を用いて波長620nmにおける吸光度を測定した。

レファレンスとしては、それぞれの試料100μLに対して、まず、500μLの反応停止液を加え、これに基質溶液900μL、蒸留水1.5mLの順で加えたものを用いた。また、吸光度が0.3を下回った試料については、試料を2～100倍に希釈した後、再度、活性を測定した。

2.4 グルコース及びスクロースの定量

グルコースとスクロースの定量は、メガザイム社のスクロース/ラクトース/グルコース測定キットを用いて行った⁵⁾。

1.5mLサンプリングチューブ（BIO-BIK, BT-150L）にアミラーゼ活性測定用に調製した試料300μLを分取し、100℃ブロックヒーター（TAITEC, TAH-1G）で5分間熱処理し、内在する酵素の不活性化を行った¹⁵⁾。室温、14,000rpm（TOMY, MRX-300）で1分間遠心分離し、得られた上清を2本のガラス試験管（15 × 105mm）に100μLずつ分取した。グルコース定量用の試験管には等量（100μL）の蒸留水を、もう一方のスクロース定量用の試験管には等量（100μL）のインベルターゼ（10U/mL）を加えて攪拌し、50℃の恒温インキュベーター（TAITEC, Personal-11）で20分間反応させた。それぞれの試験管にグルコース測定試薬3mLを加えて攪拌し、さらに50℃の恒温インキュベーターで20分間反応させた。分光光度計（SHIMADZU, UVmini-1240）を用いて波長510nmにおける吸光度を測定した。

ブランクとしては、200μLの蒸留水を50℃の

恒温インキュベーターで20分間保温し、3 mLのグルコース測定試薬を加えてさらに20分間保温したものを用いた。レファレンスとしては、100 μ Lのグルコース標準溶液(1.0mg/mL)に等量(100 μ L)の蒸留水を加えて攪拌したものを、50℃の恒温インキュベーターで20分間反応させ、3 mLのグルコース測定試薬を加えてさらに20分間反応させたものを用いた。

2.5 プロテアーゼ活性の測定

カッターで細かく刻んだスプラウトを50mL遠沈管(IWAKI, 2345-050)にとり、1 gに対して4 mLのリン酸ナトリウム緩衝液(pH7.0)を加えた後、ホモジナイザー(POLYTRON, Model K)で1分間破碎した。試料をガーゼとガラス漏斗でろ過した後、別の50mL遠沈管に回収し、4℃, 9,400 $\times$ gで10分間遠心分離した。得られた上清を孔径0.45 μ mのフィルター(ADVANTEC, DISMIC 25CS045AN)でろ過した後、15mL遠沈管(IWAKI, 2325-015)に回収し、分析用の試料とした。

乾燥種子の場合、白ゴマとマスタードについては、スプラウトと同様の処理を行った。緑豆、レンズ豆、ヒヨコ豆、ライ麦、ソバ、大豆については、まず、小型粉碎器(SIBATA, SCM-40A)で粉碎した後、スプラウトと同様のホモジナイザーによる破碎を行った。

プロテアーゼ活性は、メガザイム社のプロタザイム AK 錠を用いて測定した¹⁾。

ガラス試験管(18 $\times$ 180mm)にプロタザイム AK 錠1錠と1 mLの100mMリン酸ナトリウム緩衝液(30mM システインとEDTAを含む、pH7.0)を入れ、スターラーバーを用いて5分間混和した。これに1 mLの試料を入れ、40℃の恒温インキュベーター(TAITEC, Personal-11)で10分間反応させた後、10mLの2%リン酸二ナトリウム溶液を加えて激しく攪拌し、反応を停止し

た。室温で5分間放置した後、ワットマン No.1 (9 cm)を用いてろ過を行った。回収された上清について、分光光度計(SHIMADZU, UVmini-1240)を用いて波長590nmにおける吸光度を測定した。

2.6 アミノ酸の定量

アミノ酸の定量は、ニンヒドリン法を用いて行った¹³⁾。

1.5mL サンプリングチューブ(BIO-BIK, BT-150L)にアミラーゼ活性測定用に調製した試料100 μ Lを分取し、これに等量(100 μ L)のエタノールを加えて激しく攪拌し、除タンパクを行った¹⁵⁾。14,000 rpm (TOMY, MRX-300)で1分間遠心分離した後、得られた上清100 μ Lをガラス試験管(15 $\times$ 105mm)に分取し、これに100 μ Lのニンヒドリン溶液を加えて攪拌した。ガラス球でふたをして沸騰湯浴中で15分間加熱した後、分光光度計(SHIMADZU, UVmini-1240)を用いて波長570nmにおける吸光度を測定した。リジン標準アミノ酸として用いた検量線を作成し、これをレファレンスとした。また、吸光度が2.0を上回った試料については、試料を10倍に希釈した後、再度、定量を行った。

2.7 細胞壁関連酵素の活性測定

キシラナーゼ活性は、メガザイム社のキシラザイム AX 錠を用いて測定した。

ガラス試験管(18 $\times$ 180mm)にアミラーゼ活性測定用に調製した試料500 μ Lを分取し、40℃の恒温インキュベーター(TAITEC, Personal-11)で5分間保温した。これにキシラザイム AX 錠を1錠入れ、40℃の恒温インキュベーターで10分間反応させた後、10mLの2%トリス溶液を加えて激しく攪拌し、反応を停止した。室温で5分間放置した後、ワットマン No.1 (9 cm)を用いてろ過を行った。回収された上清について、分光光度計(SHIMADZU,

UVmini-1240) を用いて波長 590nm における吸光度を測定した。

セルラーゼ活性は、メガザイム社のセラザイム C 錠を用いて測定した。

ガラス試験管 (18 × 180mm) にアミラーゼ活性測定用に調製した試料 500 μ L を分取し、40℃ の恒温インキュベーター (TAITEC, Personal-11) で 5 分間保温した。これにセラザイム C 錠を 1 錠入れ、40℃ の恒温インキュベーターで 10 分間保温した後、10mL の 2 % トリス溶液を加えて激しく攪拌し、反応を停止した。室温で 5 分間放置した後、ワットマン No.1 (9 cm) を用いてろ過を行った。回収された上清について、分光光度計 (SHIMADZU, UVmini-1240) を用いて波長 590nm における吸光度を測定した。

β -グルカナーゼ活性は、メガザイム社の β -グルカザイム錠を用いて測定した。

ガラス試験管 (18 × 180mm) にアミラーゼ活性測定用に調製した試料 500 μ L を分取し、30℃ の恒温インキュベーター (TAITEC, Personal-11) で 5 分間保温した。これに β -グルカザイム錠を 1 錠入れ、30℃ の恒温インキュベーターで 15 分間保温した後、6 mL の 2 % トリス溶液を加えて激しく攪拌し、反応を停止した。室温で 5 分間放置した後、ワットマン No.1 (9 cm) を用いてろ過を行った。回収された上清について、分光光度計 (SHIMADZU, UVmini-1240) を用いて波長 590nm における吸光度を測定した。

2.8 ポリフェノールの定量

カッターで細かく刻んだスプラウトを 50mL 遠沈管 (IWAKI, 2345-050) にとり、1 g に対して 4 mL のメタノールを加えた後、ホモジナイザー (POLYTRON, Model K) で 1 分間破碎した。試料をガーゼとガラス漏斗でろ過した後、別の 50mL 遠沈管に回収し、4℃, 9,400 × g で 10 分

間遠心分離した。得られた上清を孔径 0.50 μ m のフィルター (ADVANTEC, DISMIC 25JP050 AN) でろ過した後、15mL 遠沈管 (IWAKI, 2325-015) に回収し、分析用の試料とした。

乾燥種子の場合、白ゴマとマスタードについては、スプラウトと同様の処理を行った。緑豆、レンズ豆、ヒヨコ豆、ライ麦、ソバ、及び大豆については、まず、小型粉碎器 (SIBATA, SCM-40A) で破碎した後、スプラウトと同様のホモジナイザーによる破碎を行った。

ポリフェノールの定量は、比色法を用いて行った¹²⁾。

ガラス試験管 (15 × 105mm) に試料を 200 μ L 分取し、100mM 塩化第二鉄の 0.1N 塩酸溶液と 8 mM フェリシアン化カリウム水溶液を順に 1 mL ずつ入れ、室温で 15 分間反応させた。分光光度計 (SHIMADZU, UVmini-1240) を用いて波長 720nm における吸光度を測定した。カテキンを標準とした検量線を作成し、これをレファレンスとした。また、吸光度が 2.0 を上回った試料については、試料を 5 ~ 100 倍に希釈した後、再度、定量を行った。

3. 結果と考察

3.1 アミラーゼ活性及び関連糖質含量の測定

スプラウトは発芽している植物なので、その中ではエネルギー獲得のための貯蔵物質の分解がさかんに行われている^{4, 8)}。結果として、スプラウトには、貯蔵物質の加水分解に関わる酵素が大量に含まれているものと思われる。これらは、スプラウトを生食として摂取した場合、体内においてもある程度活性を保持しているため^{3, 14)}、消化の負担を軽減するものと考えられる。よって、天然の消化剤としての働きが期待できるため、ストレスのかかる災害時等の食生活においては、消化器官を健康に保つためにきわめて有効である。

貯蔵物質の分解に関わる酵素としては、アミラーゼ、プロテアーゼ、リパーゼなどが挙げられる。そこで、まず、貯蔵デンプンの分解に関与するアミラーゼについて、酵素活性を測定した。なお、アミラーゼとはデンプンを分解する酵素の総称であり、代表的なものとしては α -アミラーゼ、 β -アミラーゼ、 α -グルコシダーゼなどを挙げることができる¹⁸⁾。ただし、ここではヨウ素-デンプン反応を用いることにより、これらを一括した総アミラーゼ活性として測定している。

3日間発芽させたスプラウトについて分析を行った結果 (Fig.1), 生重量1 gあたりのアミラーゼ活性が最も高かったのは、ライ麦・スプラウトの $12.15 \times 10^3 \text{U/g}$ であり、これにソバ・スプラウトの $3.10 \times 10^3 \text{U/g}$, レンズ豆・スプラウトの $1.45 \times 10^3 \text{U/g}$ が続いていた。また、発芽に伴う変動が最も大きかったのはソバであり、乾燥種子の $0.05 \times 10^3 \text{U/g}$ がスプラウトでは約62倍に上昇していたことになる。続いて、ライ麦, レンズ豆の順で変動が大きく、それぞれ約49倍, 約15倍であった。一方、緑豆, 大豆, マスタード, 白ゴマ, ヒヨコ豆における活性は乾燥種子, スプラウトいずれの場合も $0.5 \times 10^3 \text{U/g}$ 以下ときわめて低い値であった。

以上の結果から、デンプンの消化剤として働きを期待する場合、ソバ, ライ麦, 及びレンズ豆の

スプラウトを摂取するのが有効であることが明らかになった。いずれにおいても、乾燥種子からのアミラーゼ活性の上昇が顕著であったことから、発芽処理が効果的であることがうかがえる。これらのスプラウトをデンプン性食品と一緒に摂取した場合、消化器系への負担が減るとともに、デンプン消化に伴い食べやすさや飲み込みやすさにも変化が生ずるものと期待できる。なお、アミラーゼ活性が上昇した場合、当然、その反応生成物である還元糖の量も変化するが、これはスプラウトの食味に大きな影響を与えるものと思われる。そこで、アミラーゼの主要反応生成物であるグルコースについても分析を行った。

グルコースはスプラウトの甘味を増すと考えられるが、生物にとっては最も重要なエネルギー源であり、植物にとってはデンプンやセルロースなどの貯蔵多糖類の構成要素としても重要である⁴⁾。生重量1 gあたりのグルコース量が最も多かったものは、緑豆・スプラウトの 4.40mg/g であったが、発芽に伴う変動が最も大きかったものはレンズ豆であり、乾燥種子の 0.07mg/g がスプラウトでは 3.45mg/g と約49倍に増加していた (Fig.2)。続いて、白ゴマ, 緑豆, ソバの順で変動が大きく、それぞれ約16倍, 約8倍, 約6倍であった。その一方、マスタード, ライ麦, 大豆, ヒヨコ豆については変動の幅が小さく、特にヒヨコ豆につい

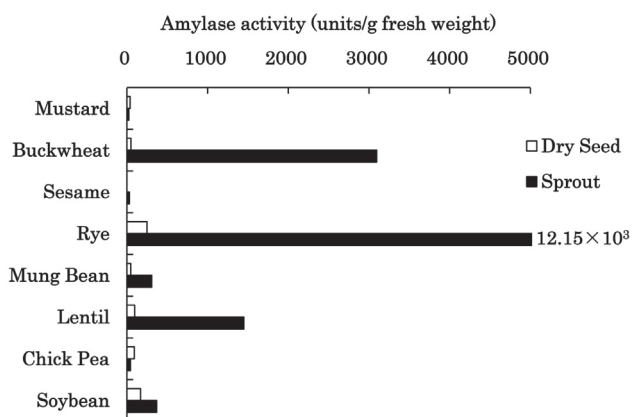


Fig.1 Changes of amylase activity of vegetables after subsection to germination for sprout preparation.

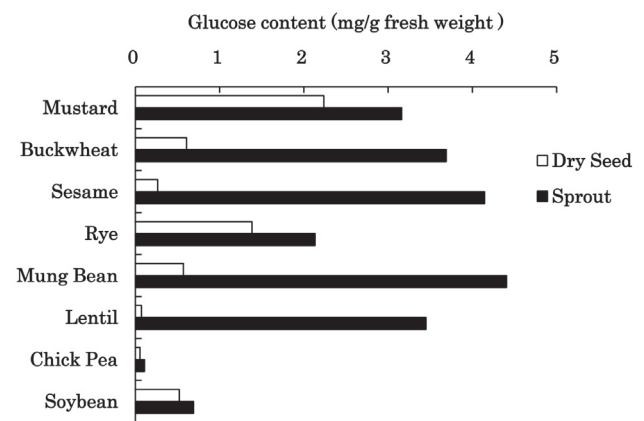


Fig.2 Changes of glucose content of vegetables after subsection to germination for sprout preparation.

てはスプラウトの場合においても 0.11mg/g ときわめて低い値であった。よって、これらの種子については、グルコース含量の増加を目的とした場合、発芽処理の効果は低いものと思われる。

これらの結果を先述のアミラーゼ活性と照らしあわせてみると、レンズ豆とソバに関しては活性測定を反映する結果といえよう。すなわち、発芽に伴いアミラーゼ活性は上昇し、反応生成物であるグルコース含量も増加しており、スプラウト内では貯蔵デンプンの分解が盛んに行われているものと考えられる。ところが、白ゴマと緑豆については、アミラーゼ活性自体はきわめて低かったにもかかわらず、グルコース量が顕著に増加するという結果が得られた。さらに、ライ麦については、アミラーゼ活性が上昇しているにもかかわらず、グルコース量の増加を観察することができなかった。これらの種子においては貯蔵デンプンの分解以外の理由により、グルコース量が変動しているものと考えられる。そこで、その原因を解明するために、植物代謝生理学の視点からもグルコースとの関連が深いスクロースについて分析を行うことにした。

スクロースは糖が植物生体内を移動する際の形態として重要であるが、その理由のひとつとして、水に対する溶解度が高いことがあげられる。特に発芽時においては、貯蔵デンプンから生じたグルコースがスクロースに変換された後、各組織に輸送され、発芽・生長のためのエネルギー源として利用されている⁸⁾。また、食物の視点からは、グルコースよりも高い糖度を有しているため、甘味を規定する要素としてはより重要といえる。

分析の結果、ヒヨコ豆を除くすべての種子において、発芽に伴う減少が観察された (Fig.3)。よって、白ゴマと緑豆については、先述のグルコース量の測定における矛盾が解消される。すなわち、アミラーゼ活性が低いにもかかわらずグルコース

含量が増加した理由は、種子に含まれるスクロースが発芽に伴い分解されたためと推測される。スクロースの分解により生じたグルコースは、発芽のためのエネルギー源として利用されるものと思われる。実際、発芽に伴うスクロースの減少率が最も大きかったものも緑豆であり、乾燥種子の 9.15mg/g がスプラウトではほとんど検出されないまでに減少していた。白ゴマについても種子の 4.66mg/g からスプラウトの 1.28mg へと約 73% の減少がみられた。

ただし、ライ麦における矛盾点は、依然として解消されないままである。すなわち、ライ麦についてはアミラーゼ活性の上昇に加えて、スクロースからの供給も加わるため、グルコース含量は大幅に増加するものと期待される。しかし、実際の変動の幅は小さいままである。ライ麦についてはエネルギー変換の速度が早く、生成されたグルコースはたちまち消費されてしまうのかもしれない。

なお、生重量 1 g あたりのスクロース量が最も多かったものは、大豆・乾燥種子の 22.29mg/g であった。ただし、スプラウトとして摂取する場合、スクロースによる甘味は低下するものと考えられる。しかし、ヒヨコ豆については、唯一、スクロース含量が約 1.3 倍増加していた。よって、ヒヨコ豆の場合、発芽処理により甘味が増すものと考えられる。スクロース量が増加する要因とし

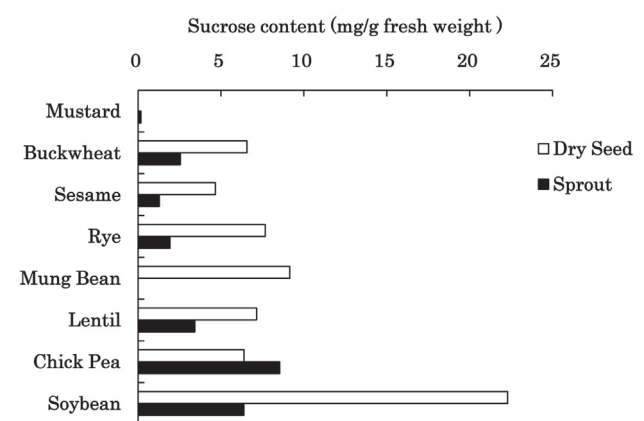


Fig.3 Changes of sucrose content of vegetables after subjection to germination for sprout preparation.

では、スクロース合成酵素の活性が高いことや、スプラウト内におけるスクロースの代謝が円滑に進んでいないなどの可能性が考えられる。逆に、マスタードについては、乾燥種子、スプラウトいずれの場合もきわめて低い値であった。よって、マスタードにおける甘味は、グルコースに依存するものと考えられる。

3.2 プロテアーゼ活性及びアミノ酸含量の測定

続いて、スプラウトにおけるプロテアーゼ活性を測定した。アミラーゼ活性と同様、発芽処理により上昇すると思われたプロテアーゼ活性であるが¹⁹⁾、実際は、予測に反して、すべてのスプラウトにおいて低下、もしくは変動していなかった (Fig.4)。加えて、乾燥種子、スプラウトにおけるプロテアーゼ活性自体が、いずれの場合も50.00mU/g以下ときわめて低い値であることも明らかになった。ある程度の活性が確認されたのは、ヒヨコ豆・乾燥種子 (105.45mU/g) と大豆・スプラウト (75.96mU/g) のみであった。よって、スプラウトに食物タンパク質消化剤としての働きを期待するのは難しいと思われる。発芽に伴いプロテアーゼ活性が上昇しない要因については、今後の検討が必要と思われる。なお、唯一、大豆・乾燥種子については試料から微粒子を除くことができなかったため活性測定が不能であった。

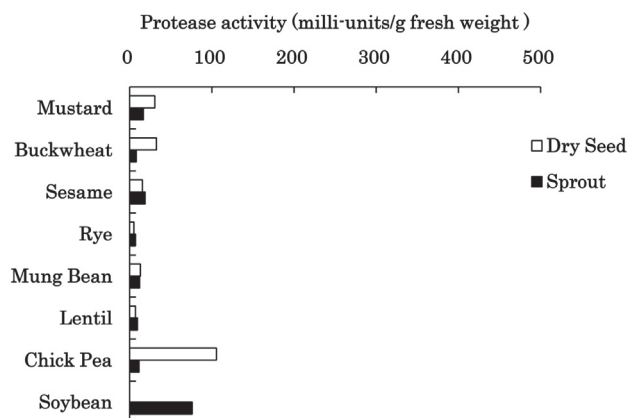


Fig.4 Changes of protease activity of vegetables after subjection to germination for sprout preparation.

プロテアーゼ活性の測定に並行して、その反応生成物であるアミノ酸の含量についても分析を行った。アミノ酸は呈味をもっているため、スプラウトを摂取する際には重要な要素といえる。その結果、いずれの乾燥種子及びスプラウトにおいても、含量は3.00mg/g以上と高く、災害時におけるアミノ酸の供給源としての活用が期待できる (Fig.5)。なお、発芽に伴うアミノ酸量の増加がみられたものとしては白ゴマ、ライ麦、緑豆、ヒヨコ豆があり、特に白ゴマとヒヨコ豆については、いずれも約2倍に増加しており、発芽処理が効果的であることがうかがえる。他の種子については、アミノ酸量は減少しているが、これは幼芽が成長するための窒素源として利用されているものと思われる。また、アミノ酸の絶対量のみに注目するとレンズ豆・乾燥種子の12.64mg/gが最も高く、続いて大豆・乾燥種子の10.70mg/gと高い値を示しており、それ自身が良質のアミノ酸供給源であると思われる。

3.3 細胞壁関連酵素の活性測定

植物性食品を摂取する場合、各組織に含まれる細胞壁についても機能性成分をはじめとする栄養素としての働きが期待できる¹⁰⁾。そこで、スプラウトに含まれるさまざまな細胞壁関連酵素の活性を測定し、非常時における有効活用について検討した。

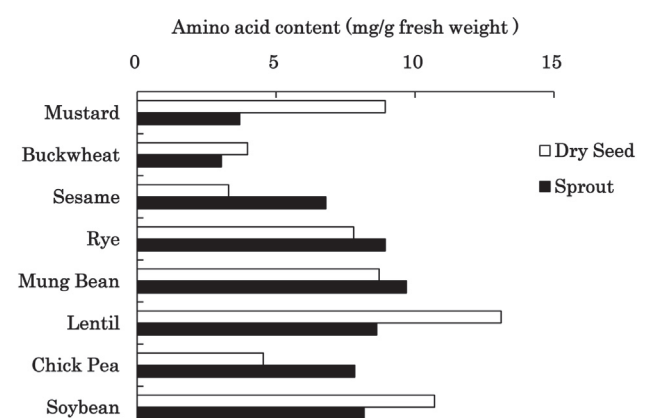


Fig.5 Changes of amino acid content of vegetables after subjection to germination for sprout preparation.

まず、セルラーゼ活性の測定を行った。セルラーゼは植物細胞壁の主成分であるセルロースの β -1,4-グリコシド結合を加水分解する酵素であり、発芽時にはエネルギー源としてのグルコースやセロビオースを供給しているものと考えられている¹⁶⁾。発芽処理により上昇することが期待されたセルラーゼ活性であったが、ほとんどのスプラウトにおいて低下を示した(Fig.6)。また、プロテアーゼと同様、活性自体が500.00 mU/g以下ときわめて低いものであることも明らかになった。唯一、例外として、レンズ豆については活性が上昇していたものの、その活性値及び変動の幅はわずかであった。したがって、セルラーゼについては、アミラーゼと比較した場合、グルコースの供給にはほとんど寄与していないものと考えられる。

続いて、キシラナーゼ活性を測定した。キシラナーゼはキシランの β -1, 4-キシロシド結合を加水分解する酵素である。キシランは細胞壁を構成するヘミセルロースの主体をなすものであるが、これをキシラナーゼで分解して得られるキシロオリゴ糖は、機能性食品としての利用(たとえば、腸内細菌の炭素源となることによる整腸作用)が期待されている¹⁶⁾。しかしながら、キシラナーゼ活性も予想に反して低い値を示し、いずれの乾燥種子及びスプラウトにおいても100.00mU/g以下であった(Fig.7)。また、この活性は発芽に伴

い低下し、特にソバと白ゴマの乾燥種子では、それぞれ39.96mU/g, 26.44mU/gあった活性が、スプラウトでは検出できないまでに低下していた。唯一、大豆については、乾燥種子では検出されなかった活性がスプラウトでは26.93mU/gと上昇していたものの、この値についても、他と比較して特に高いというわけではない。よって、今回分析したスプラウトについては、キシロオリゴ糖の含量の増加を期待するのは難しいものと思われる。

最後に、各試料における β -グルカナーゼ活性についても検討した。 β -グルカナーゼとは β -グルカン加水分解する酵素の総称なので、厳密にいうと、前述のセルラーゼや細菌由来のリケナーゼなどもこれに含まれる。ただし、今回は大麦由来の β -1, 3-1, 4-グルカンをもとに調製した合成基質を活性測定に用いている。よって、ここで得られた β -グルカナーゼ活性とは、 β -1, 3-1, 4-グルカンを基質とした場合の活性値のことである。前述のセルラーゼとキシラナーゼの結果とは異なり、 β -グルカナーゼ活性については有意な値が得られた(Fig.8)。特にヒヨコ豆とライ麦のスプラウトにおける活性は、それぞれ328.99mU/g, 189.59mU/gと高く、いずれの場合も発芽に伴う活性の上昇を示した。特にライ麦の場合、活性は約3倍に上昇していた。その他の乾燥種子もしくはスプラウトにおいても活性はみられたが、ヒヨ

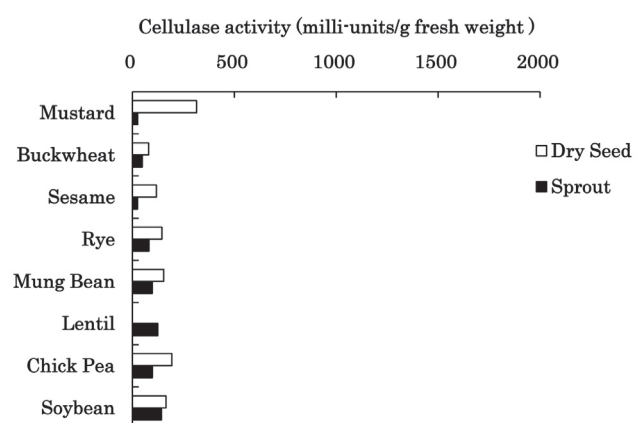


Fig.6 Changes of cellulase activity of vegetables after subsection to germination for sprout preparation.

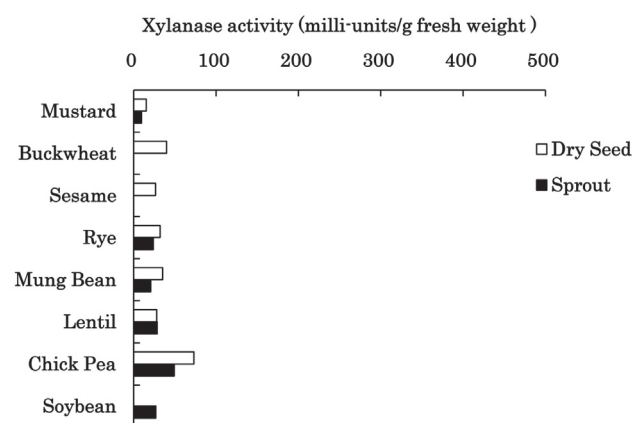


Fig.7 Changes of xylanase activity of vegetables after subsection to germination for sprout preparation.

コ豆、ライ麦と比較すると低い値であった。 β -グルカナーゼ活性が存在するという事は、種子もしくはスプラウト内に β -グルカン (β -1, 3-1, 4-グルカン) が含まれることを示唆している。 β -グルカンは鉄吸収促進や食物繊維としてのほたらきが注目されており³⁾、ヒヨコ豆とライ麦についてはその供給源となることが期待される。したがって、この両者については β -グルカンの定量を行うことが望まれる。

3.4 ポリフェノールの定量

ポリフェノールは芳香環に2つ以上の水酸基を有する化合物の総称であり、シキミ酸経路を經由して生合成される一連の植物二次代謝物のことである。フラボノイド、クマリン、タンニンなどがその代表であり、いずれも抗酸化作用をもつことから、これらを食物として摂取した場合には体内の活性酸素を除去することによるさまざまな健康効果が期待される。たとえば、活性酸素に起因する疾病（心筋梗塞、動脈硬化、脳梗塞、糖尿病など）、がん、老化などに効果を発揮するものと思われる²⁾。そこで、各スプラウトに含まれるポリフェノールを定量し、非常時における有効活用について検討した。

発芽に伴うポリフェノール量の変動が最も大きかったのはヒヨコ豆であり、乾燥種子では0.26 mg/g含まれていたポリフェノールが、スプラウ

トでは0.94mg/gと約4倍に増加していた。レンズ豆についても乾燥種子の0.27mg/gが約2倍に上昇しており、これらの種子については発芽処理がポリフェノール含量の増加に効果的であることが確認されたものの、増加した際の量自体が他のスプラウトと比較して低い値であった。生重量1gあたりのポリフェノール量が最も多かったのは、マスタード・乾燥種子の2.92mg/gであり、これはヒヨコ豆、レンズ豆のスプラウトと比較するとはるかに高い値であるが、残念なことに発芽に伴い1.22mg/gに減少している。続く緑豆についても2.31mg/gから0.64mg/gへと大幅に減少していた（Fig.9）。よって、ポリフェノールを効率的に摂取するためには、これらの乾燥種子を食べるのがよいと思われ、発芽処理による含量の増加は期待できないことが明らかになった。白ゴマ、ライ麦、大豆については発芽に伴わずかに増加、もしくは変動していなかった。

3.5 総合考察

本研究では、災害時における非常食としての有効利用を目的に、代表的なスプラウトにおける成分分析を行った。その結果、一般的に発芽に伴い増加すると思われていたスプラウトの機能性成分ではあるが^{9, 11)}、実際にはこれに当てはまらないものもあることが本研究において確認された。今回分析に用いたスプラウトについて、それぞれ

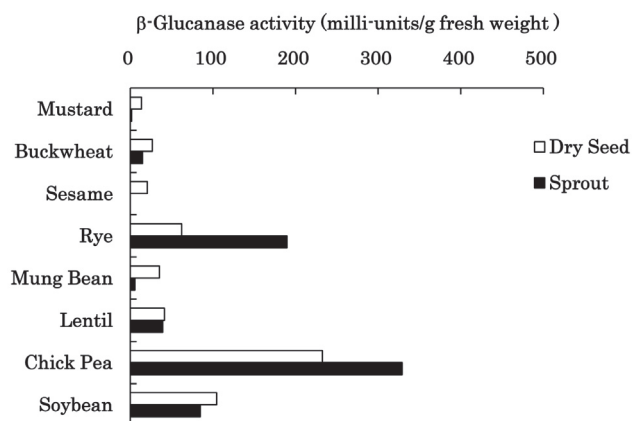


Fig.8 Changes of β -glucanase activity of vegetables after subjection to germination for sprout preparation.

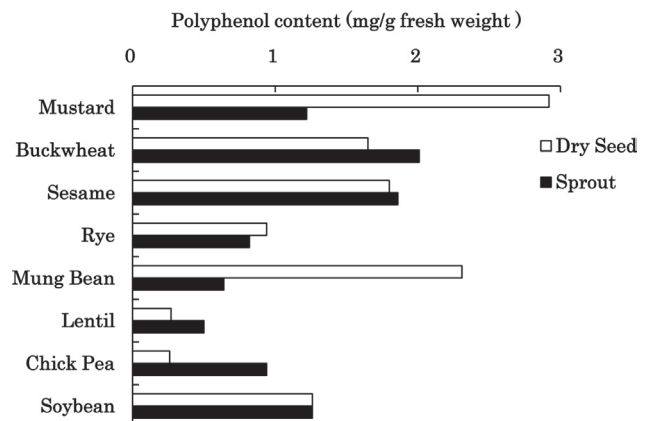


Fig.9 Changes of polyphenol content of vegetables after subjection to germination for sprout preparation.

の特長をまとめると以下ようになる。

アブラナ科のマスタードについては、乾燥種子のポリフェノール含量が高いことが特長といえる。ただし、これは発芽処理により低下してしまう。タデ科のソバについては、発芽処理によりアミラーゼ活性が上昇していることが特長といえる。それに伴いグルコース含量も増加しているが、これは貯蔵デンプンに由来するものといえる。また、乾燥種子のポリフェノール含量が多いのも特長であり、これは発芽処理により若干ではあるが上昇している。ゴマ科の白ゴマについては、発芽処理によりアミノ酸含量が増加することが特長といえる。また、乾燥種子のポリフェノール含量が多いのも特長であったが、これはソバと同様に発芽処理により若干上昇する。イネ科のライ麦については、スプラウトのアミラーゼ活性がきわめて高いことが特長といえるが、その反面、グルコース量についてはほとんど増加していない。一方、乾燥種子、スプラウト共に β -グルカナーゼ活性が高かったことから、食物繊維の供給源としての利用が期待される。マメ科の4種については、共通点として、乾燥種子にスクロース含量が高い、スプラウトのアミノ酸含量が高いなどをあげることができる。しかし、実際には相違点のほうが多く、それぞれの種子が独自の特性を示すことが明らかになった。発芽に伴うレンズ豆のグルコース量の増加、ポリフェノール量の増加、ヒヨコ豆のスクロース量、アミノ酸量、ポリフェノール量の増加、 β -グルカナーゼ活性が高いことなどは特長的であった。よって、同じマメ科のスプラウトであっても「食物繊維が必要な場合は、 β -グルカンが豊富なヒヨコ豆を摂取する」といったように、それぞれの特性を生かした利用が期待される。

以上が本研究で得られた結果であるが、当初の予想に反して、酵素活性とその反応生成物、及びポリフェノールについては、発芽に伴う変動が少

なく、なかには低減してしまう例も観察された。よって、今後はここで取り上げた以外のスプラウトや栄養素についても、乾燥種子との比較のもとに分析が進むことが期待される。また、ここでは発芽の期間を3日間に限定しているが、実際、その状態では食べにくい野菜もみられる。よって、発芽の期間を延長し、食用に適した状態における成分分析も必要になるものと思われる。なお、本研究で用いたもののなかではソバ、マスタード、白ゴマがそれに相当すると思われたため、7日間発芽させた試料についても、同様の成分分析を行った。

まず、7日目におけるアミラーゼ活性については、すべてのスプラウトで低い値を示した(**Fig.10**)。特に変動が著しかったものはソバであり、3日目において $3.10 \times 10^3 \text{U/g}$ あった活性が、ほとんど検出できないまでに減少していた。これは、貯蔵デンプン分解酵素であるアミラーゼが発芽の初期におけるエネルギー供給に参与していることを示す結果であるが、消化剤としてのアミラーゼの摂取を目的とした場合、ソバは3日程度の発芽が適当で、7日間発芽させたスプラウトは適していないことが明らかになった。なお、反応生成物であるグルコース量については、3日間発芽させたスプラウトと比較した場合、いずれにおいても顕著な変動はみられなかった(**Fig.11**)。こ

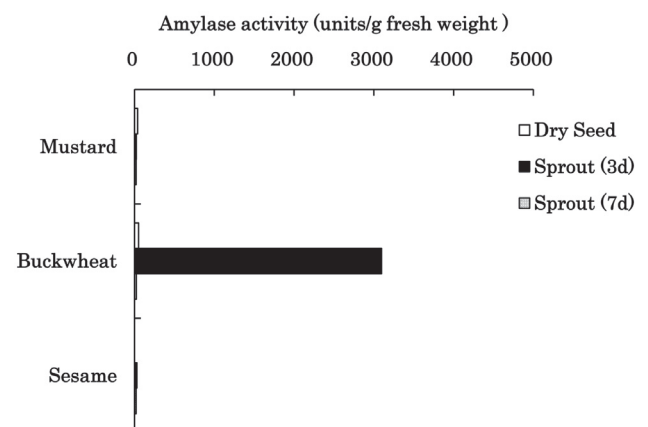


Fig.10 Changes of amylase activity of vegetables after subjection to germination for sprout preparation.

の結果から、発芽の日数によらず、スプラウトには一定量のグルコースが含まれていることが推測される。一方、スクロースについては、いずれのスプラウトにおいても、ほとんど検出されないまでに減少していた (Fig.12)。この結果を先述のアミラーゼ活性の低下とあわせて考えると、3～7日目のスプラウトにおいては、スクロースが貯蔵デンプンに代わってグルコースの供給源となっている可能性が高い。また、食味の点においても、スクロースによる甘味は低下しているものと思われる。

プロテアーゼ活性については、マスタードとソバでは3日目をさらに下回る値を示した (Fig. 13)。白ゴマにおいては若干上昇していたものの、活性自体は依然として低く、タンパク質消化剤としての働きは期待できない。加えて、白ゴマの場

合、3日目においては増加を示したアミノ酸含量が7日目においては低下しており、乾燥種子における値さえも下回っていた (Fig.14)。白ゴマ・スプラウトからのアミノ酸の効率的摂取を考えた場合、3日程度の発芽が適当であると思われる。

なお、セルラーゼ、キシラナーゼ、及び β -グルカナーゼについては、いずれのスプラウトにおいても7日間発芽させたことに伴う顕著な変動も観察されず、酵素活性は低い値であった (Fig. 15, 16, 17)。細胞壁関連酵素の働きが期待できるのは、先述のライ麦とヒヨコ豆における β -グルカナーゼ活性のように、特殊なスプラウトに限られるものと思われる。また、ポリフェノール含量についても顕著な変動は観察できなかった (Fig. 18, 白ゴマについては試料の調製が困難であったため測定は行っていない)。発芽に伴う抗酸化成

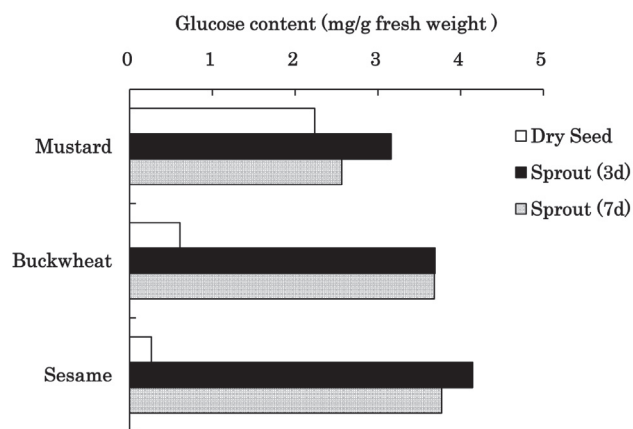


Fig.11 Changes of glucose content of vegetables after subsection to germination for sprout preparation.

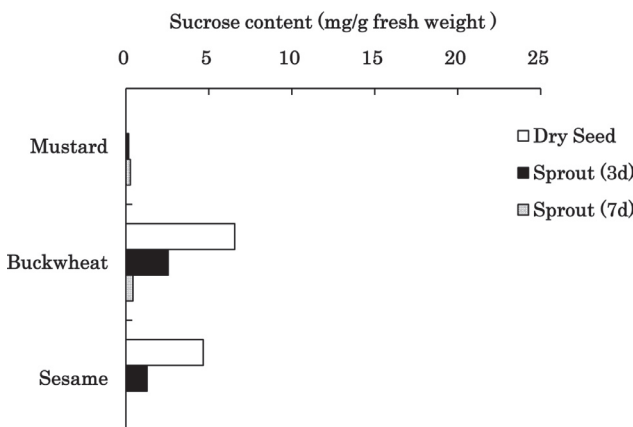


Fig.12 Changes of sucrose content of vegetables after subsection to germination for sprout preparation.

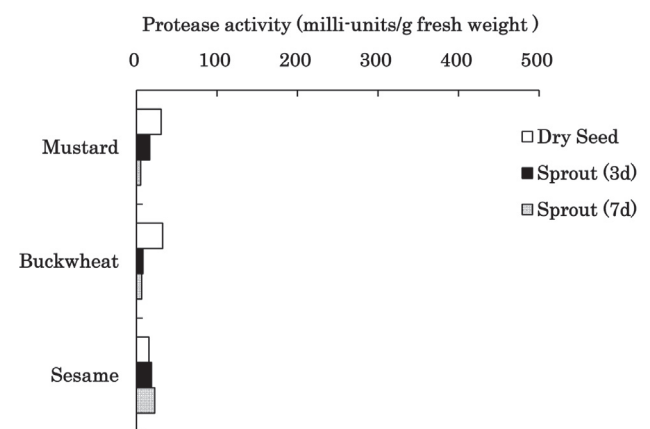


Fig.13 Changes of protease activity of vegetables after subsection to germination for sprout preparation.

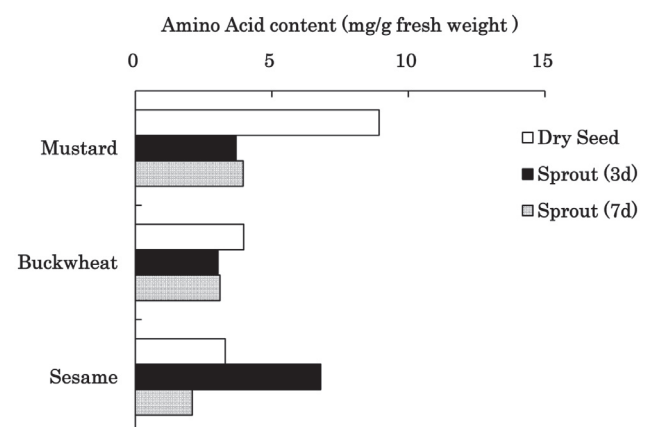


Fig.14 Changes of amino acid content of vegetables after subsection to germination for sprout preparation.

分の増加がいくつかのスプラウトにおいて報告されており期待がもたれたが¹⁷⁾、今回分析したものについては当てはまらないものと思われる。

4. 要 約

生活習慣病のケモプリベンションの視点から、さまざまなスプラウトが注目されている。しかし、食品としてのスプラウトが注目されるようになったのは、ごく最近のこともあり、依然として栄養特性のはっきりしないスプラウトも多い。スプラウトは生食として用いられる場合が多い。よって、そこに含まれる栄養素を、加熱などによる損失なく効率的に摂取することができる。また、種子の状態であれば長期間の保存が可能であり、わずかなスペースで栽培できることから、災害時における非常食としても有効であると考えられる。そこ

で、本研究ではスプラウトに含まれる栄養素について分析を加え、非常食としての有用性を検討した。

代表的な8種のスプラウト（マスタード、ソバ、白ゴマ、ライ麦、緑豆、レンズ豆、ヒヨコ豆、及び大豆）について分析を行った結果、以下のことが明らかになった。1) ソバ、ライ麦、レンズ豆のスプラウトについては高いアミラーゼ活性が含まれており、デンプン性食品を摂取した際の消化剤としての効果が期待できる。よって、ストレスのかかる災害時等の食生活においては、消化器官を健康に保つためにきわめて有効であると思われる。2) 今回分析に用いた8種類のスプラウトについては、非常時におけるよいアミノ酸の供給源になりうるものと思われる。また、特に、白ゴマとヒヨコ豆のスプラウトについては、発芽処理が

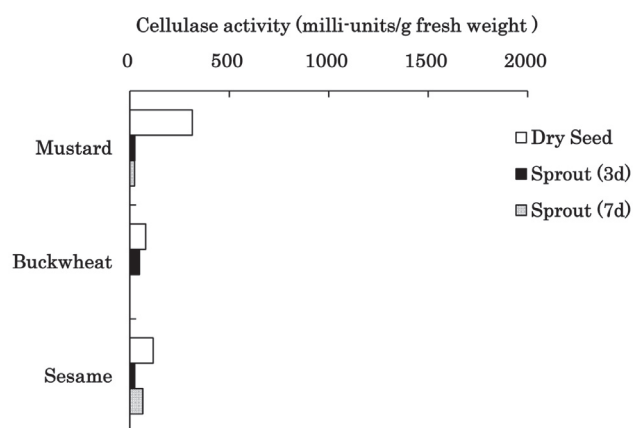


Fig.15 Changes of cellulase activity of vegetables after subjection to germination for sprout preparation.

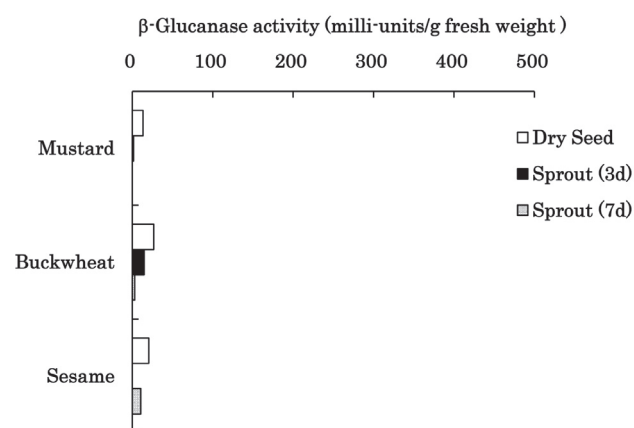


Fig.17 Changes of β-glucanase activity of vegetables after subjection to germination for sprout preparation.

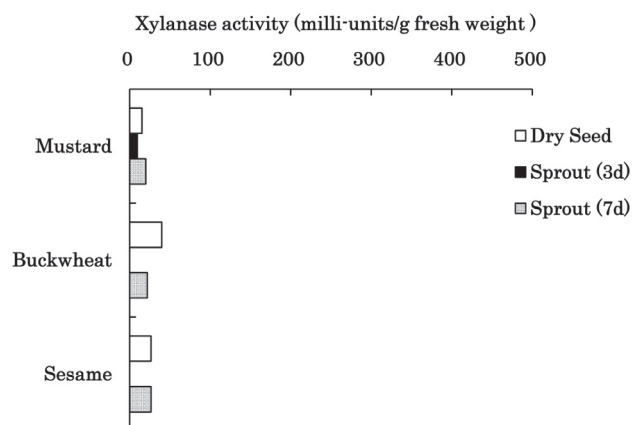


Fig.16 Changes of xylanase activity of vegetables after subjection to germination for sprout preparation.

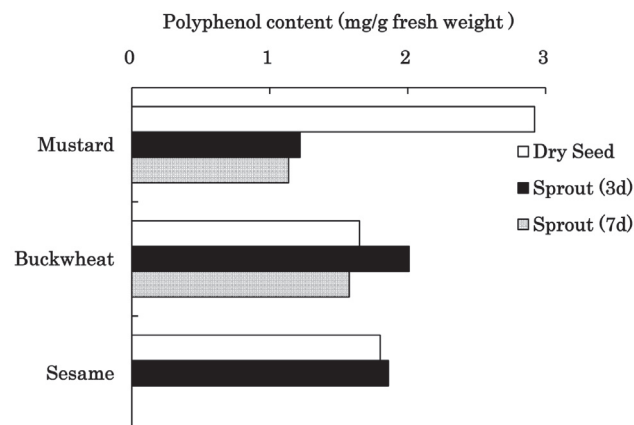


Fig.18 Changes of polyphenol content of vegetables after subjection to germination for sprout preparation.

アミノ酸含量の増加に効果的であることが明らかになった。3) ライ麦とヒヨコ豆のスプラウトにおいては β -グルカナーゼ活性が検出されたが、これは β -グルカンが含まれていることを示唆しており、非常時において不足しがちな食物繊維の供給源となることが期待される。4) 発芽に伴い増加することが期待されていた抗酸化物質・ポリフェノールであるが、今回分析した8種類のスプラウトについては、発芽に伴う顕著な増加を観察することができなかった。

文 献

- 1) Agüero, M. S., Garnaell, A., and Carbonell, J. (1996) Expression of Thiol Proteases Decreases in Tomato Ovaries after Fruit Set Induced by Pollination or Gibberellic Acid, *Physiol. Plant.*, **98**, 235-240
- 2) 青柳康夫 (2003) 抗酸化 (活性酸素除去) 機能, 『食品機能学』, 建帛社, 東京, 8-43
- 3) 有田政信 (2003) 消化吸収促進機能, 『食品機能学』, 建帛社, 東京, 44-63
- 4) Browse, J., Möller, I. M., and Rasmusson, A. G., (2002) Respiration and lipid metabolism, *Plant Physiology*, Sinauer Associates, Inc., Publishers, Sunderland, Massachusetts, 223-258
- 5) 福井作蔵 (1990) 酵素または生物を利用する還元糖の定量, 『還元糖の定量法 (第2版)』, 学会出版センター, 東京, 143-170
- 6) 平澤栄次 (1991) 酵素: α -アミラーゼの誘導, 『植物ホルモン研究法』, 学会出版センター, 東京, 84-94
- 7) Mar, S. S., Mori, H., Lee, J.-H., Fukuda, K., Saburi, W., Fukuhara, A., Okuyama, M., Chiba, S., and Kimura, A. (2003) Purification, Characterization, and Sequence Analysis of Two α -Amylase Isoforms from Azuki Bean, *Vigna angularis*, Showing Different Affinity towards β -Cyclodextrin Sepharose, *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, **67**, 1080-1093
- 8) Mitsunaga, S., Kashem, M. A., Ohshima M., and Mitsui T. (2004) Regulatory Mechanisms of α -Amylase Expression in Germinating Rice Seeds, *Curr. Topics Plant Biol.*, **5**, 15-38
- 9) 森友彦・川村幸雄 (編) (2004) 『食べ物と健康 3』, 化学同人, 京都
- 10) 大野信子 (2003) 難消化, 吸収阻害と微生物活性機能, 『食品機能学』, 建帛社, 東京, 64-87
- 11) 大澤俊彦 (2003) 『食べてガンを防ぐスプラウト健康法』, 河出書房新社, 東京
- 12) Price, M. L., and Butler, L. G. (1977) Rapid Visual Estimation and Spectrophotometric Determination of Tannin Content of Sorghum Grain, *J. Agric. Food Chem.*, **25**, 1268-1273
- 13) 真部孝明 (2003) タンパク質・アミノ酸, 『食品分析の実際』, 幸書房, 東京, 7-16
- 14) 藺田勝 (2005) 糖質の栄養, 『基礎栄養学』, 建帛社, 東京, 35-51
- 15) 菅原龍幸・前川昭男 (編) (2000) 炭水化物, 『新食品分析ハンドブック』, 建帛社, 東京, 103-152
- 16) 辻啓介・森文平 (編) 不溶性食物繊維, 『食物繊維の科学』, 朝倉書店, 東京 16-46
- 17) Wang, K.-H., Lai, Y.-H., Chang, J.-C., Ko, T.-F., Shyu, S.-L., and Chiou, R. Y.-Y. (2005) Germination of Peanut Kernels to Enhance Resveratrol Biosynthesis and Prepare Sprouts as a Functional Vegetable, *J. Agric. Food Chem.*, **53**, 242-246
- 18) 山口淳二 (1995) 種子デンプン (炭水化物) の合成と分解, 『種子のバイオサイエンス』, 学会出版センター, 東京, 87-93
- 19) 山内大輔・南川隆雄 (1995) 種子タンパク質の分解, 『種子のバイオサイエンス』, 学会出版センター, 東京, 71-78

Nutritional analysis of sprouts aimed for the use as emergency food

Shin-ichiro Mitsunaga

(Department of Life and Health Science, Joetsu University of Education)

Sprouts have been extensively studied as functional vegetables for the chemoprevention of lifestyle-related disease. However, their nutritional details are still not clear. Most sprouts are ready to eat in several days and can eat directly. Their seeds can resist long time storage, and only need small space for the growth. Therefore, we investigate the nutritional analysis of sprouts aimed for the use as emergency food.

In this study, we analyzed typical 8 sprouts, namely, mustard, buckwheat, sesame, rye, mung bean, lentil, chick pea, and soybean. Some enzyme activities and their products in sprouts were investigated, and their use as digestives aid in a stressed emergency situation was discussed. The contents of polyphenols, antioxidant plant compounds in the sprouts were also determined.

The findings are as follows: 1) Buckwheat, rye, and lentil sprouts contained large amount of amylase activity following germination, indicating that they are suitable for the digestive. 2) Sprouts are good amino acid source, especially, the amino acid contents of sesame and chick pea sprouts were increased following germination. 3) Rye and chick pea sprouts contained β -glucanase activity, suggesting that they maybe useful for dietary fiber. 4) Remarkable increase of polypenols contents with an increase of germination time were not detected in these 8 sprouts.