ワサビノキ(モリンガ)の種子・葉に含まれる有用成分とその多目的利用

誌名	熱帯農業研究
ISSN	18828434
著者名	尾山,廣 杉村,順夫 山,和孝
発行元	日本熱帯農業学会
巻/号	9巻2号
掲載ページ	p. 41-51
発行年月	2016年12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

熱帯農業研究　9(2)：41 − 51，2016

総　説

ワサビノキ（モリンガ）の種子・葉に含まれる有用成分とその多目的利用

尾山　廣[1]・杉村順夫[2,*]・山　和孝[3]

[1] 摂南大学理工学部　〒572-8508 大阪府寝屋川市池田中町 17-8
[2] 公益財団法人衣笠繊維研究所　〒603-8326 京都府京都市北区北野下白梅町 29
[3] 日本モリンガ協会　〒600-8813 京都府京都市下京区中堂寺南町 134，京都高度技術研究所（ASTEM）ビル

キーワード　機能性タンパク質，工業用原料生産樹，種子タンパク質，種子の油脂成分，水質浄化，葉の栄養成分

Multipurpose Applications of Useful Substances in Moringa Seeds and Leaves

Hiroshi OYAMA[1], Yukio SUGIMURA[2,*], and Kazutaka YAMA[3]　[1]*Department of Science and Technology, Setsunan University, Ikedanaka, Neyagawa, Osaka 572-8508, Japan,* [2]*Kinugasa Research Foundation for Textile Science, Kitano, Shimo-hakubai, Kita, Kyoto 603-8326, Japan,* [3]*Japan Moringa Association, ASTEM Building, Chudoujiminami, Shimogyo, Kyoto 600-8813, Japan*

Key words: Fats and oils in seeds, Functional proteins, Industrial tree, Nutrient composition in leaves, Seed proteins, Water purification

緒　言

ワサビノキ（*Moringa oleifera*, *M. pterygosperma*）は，英名で Horse radish tree，Drumstick tree，Ben oil tree と呼ばれている．しかし，多くの研究報告や関連資料では，たびたび‘モリンガ’（moringa）と称され，この通称名が世界的に広く用いられている．ワサビノキの原産地はインド北西部のヒマラヤ山麓である（Ramachandran *et al.*, 1980）．今日では，インドを始め，アジア諸国，南洋諸島，アフリカ諸国，西インド諸島，中南米諸国の熱帯・亜熱帯地域に広く分布し，アメリカの南部フロリダへはキューバから導入された（Morton, 1991; Foidl *et al.*, 2001; Sanchez *et al.*, 2006）．これら熱帯，亜熱帯地方では，葉，種子，花，根，茎，樹液などが種々の目的で古くから用いられており，日常生活に密着した汎用性樹木として知られている．これまでその研究は大きく立ち遅れていたが，近年になり徐々に科学的情報が蓄積しつつある．本稿では，植物学的特徴と栽培について紹介したのち，種子に含まれる機能性タンパク質と油脂成分，葉に含まれる栄養・保健成分について焦点を絞り，それらの利用場面の現状と今後の展望について言及する．

植物学的特徴と栽培

ワサビノキ科 Moringaceae はワサビノキ属 *Moringa* だけからなる木本であり，13 種が知られている（Pandey *et al.*, 2011）．これらは，花序形態，樹形，貯水性茎やイモ状根の発生，地理的分布の特徴から，3 カテゴリーに分けられる（Olson, 1999）．(1) Bottle tree タイプ：放射相称花で，水分貯蔵のために茎が肥大・多肉化している．マダガスカル島，ケニア，エチオピアなどに分布する（*M. drouhardii, M. hikdebrandtii, M. ovalifolia, M. stenopetals*），(2) Slender tree タイプ：左右相称花で，茎に膨らみがない通常の茎で，硬い繊維質のイモ状根が出現する．インド，アラビアなどに分布する（*M. concanesis, M. oleifera, M. peregrina*），(3) Small tree ／ Shrub タイプ：左右相称花で，肥大した貯水性のイモが形成され，ケニア，ソマリア，エチオピアなどの北東アフリカに分布する（*M. arborea, M. rivae, M. borziana, M. pygmaea, M. longituba, M. ruspoliana*）．

本稿で取り上げる *M. oleifera*（ワサビノキ）は生長が速く，樹高 5 ～ 10 m 程になり，まばらに分岐した枝に，通常，3 回羽状に切れ込んだ大きな葉を互生あるいは対生状につける（図 1）．黄白色の花は，葉に腋生する大きな円錐花序に多数つき，花弁は 5 枚，径 2 ～ 3cm である．果実は長円柱形で両端は尖った莢状であり，長さ 30 ～ 60 cm に達する（Morton, 1991; Pandey *et al.*, 2011）．熟すと裂開して多数の翼のある種子を放散する．染色体数は 2n=28 である（Ramachandran *et al.*, 1980）．

ワサビノキは亜熱帯，熱帯地域の乾燥地帯から湿潤地帯で生育し，年間降雨量 250 ～ 2250 mm，年平均最高温度 25 ～ 35 ℃，土壌 pH 4.5 ～ 8 の地域に分布する（Palada, 1996; Palada and Chang, 2003; Sanchez

責任編集者　高垣美智子
2015年12月 8 日受付
2016年 2 月28日受理
* Corresponding author
kit_sugimura@yahoo.co.jp

et al., 2006; Price, 2007)．土質を選ばず，6カ月間の乾燥ストレスに対して耐性があり，開花・着果する．栽培管理については，各地域における土着の慣行法に関して断片的情報は散見するが，総合的に取り上げた報告は極めて少ない．ここでは，一般的な慣行栽培(Palada and Chang, 2003; Sauveur and Broin, 2011）について概説する．

播種・育苗・栽植密度：ワサビノキの植え付けは，直播き，移植，挿木によって行う．種子休眠がなく，発芽には光要求性がないため，常時播種することができる．若葉の生産を目的として栽培するときには，直播きで高密度栽培する．10 cm ～ 20 cm の畝幅に 30 ～ 50 cm の間隔で播種し，約2ヶ月間育成したのち，第一次収穫をする．その後，毎月若葉を順次収穫する栽培法である．移植栽培は，ポリバッグに播種し，樹高 60 ～ 90 cm まで育苗したのち，畝幅，株間を3～5 m 間隔にして圃場に定植する方法であり，葉，莢，種子生産を目的とした栽培である．また，茎の直径4～16 cm で長さ 45 ～ 150 cm の枝を穂木にして，挿木床やポリバッグに挿木し2～3ヵ月育苗した後に圃場に定植する．また，雨季に直接圃場に挿木し栽培することも可能である．播種，移植，挿木栽培は通常は雨季直前に行うが，乾季や乾燥期では，灌漑が必要となる．一旦，根がしっかりと定着すると乾燥に強い．

剪定：葉，莢，種子の増収を図るためには，枝条数を増やす必要がある．主茎生長を放任し無剪定であれば，直幹性生長になる．樹高が1～2 m になれば，主茎を切り，収穫しやすい高さにまで剪定する．切断部の株から多数のシュートが発生し，灌木タイプの樹形になる．また，主茎長が 60 cm になったとき，地際部から 30 cm の高さで剪定し，多数の枝を持った樹形に仕立てることもできる．

収穫：通常栽培で葉を収穫する場合は，茎の高さが 1.5 m 以上に達してから，枝を切取って収穫する場合と葉のみを手摘する場合があり，この場合は通常年1回の収穫である．高密度栽培および通常栽培でも，若

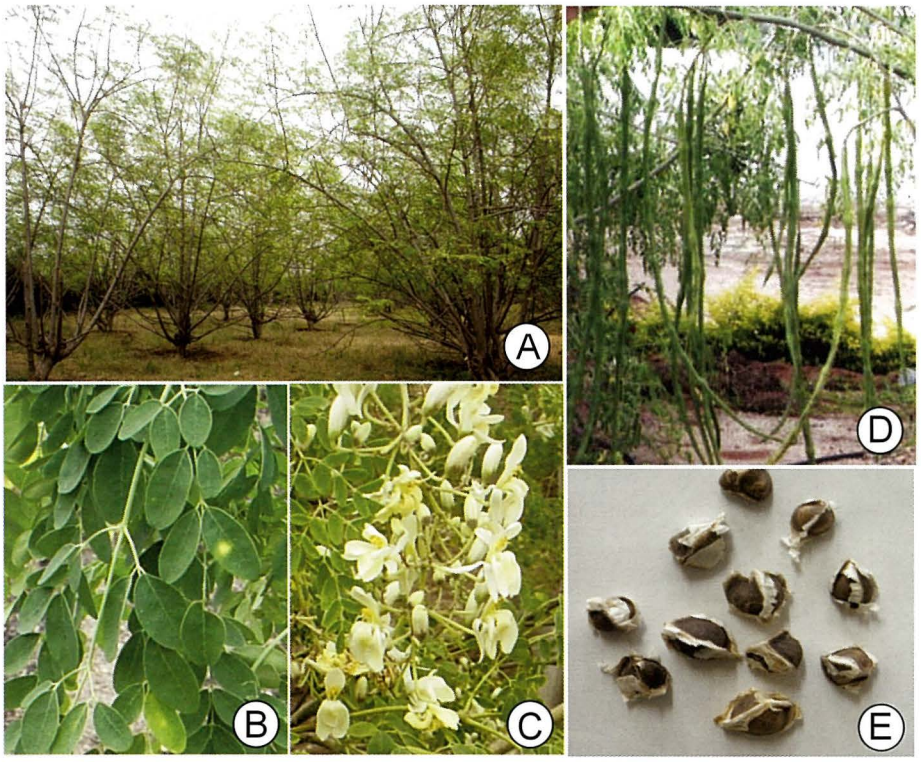

図1．ワサビノキ樹の形態的特徴．
(A) 樹形；(B) 葉；(C) 花；(D) 枝からぶら下がっている莢；(E) 種子．

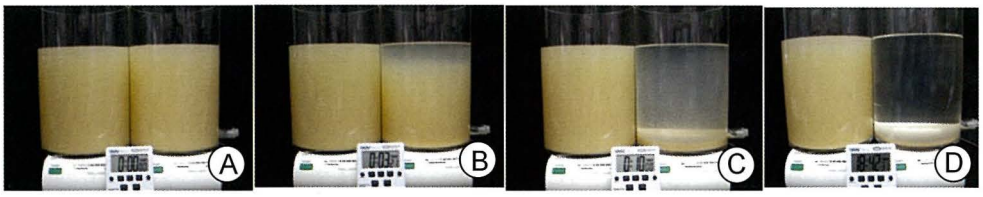

図2．ワサビノキの種子抽出物による濁水浄化作用．
土壌粒子懸濁液に水抽出液を投入した後に起こる凝集・沈殿の経時的変化．
未投入区，左容器；投入区，右容器．(A) 投入直後；(B) 3分後；(C) 10分後；(D) 18時間後．

葉を調理用に供する場合は，蒸散で萎れやすいので，早朝収穫が適している．乾燥葉として供する場合は，数時間天日干しにする．

生産性：栽培地と栽培管理により生産性は左右されるが，通常栽培における種子，莢，葉の平均的生産量が報告されており，概ねの生産性が把握できる（Foidl *et al.*, 2001; Pandey *et al.*, 2011）．種子の平均重量，0.3 g（子実部：外皮＝75：25）；莢当たりの種子重量，3.59 ～ 5.03 g；莢当たりの種子数，12 ～ 17 個；莢の平均重量，7.6 ～ 7.95 g；子実の水分含量，4.5％；年間莢の生産量，600 ～ 1600 個 / 樹 / 年；種子の生産量，15,000 ～ 25,000 粒 / 樹 / 年で 3.0 t/ha；葉の生産量，120 t 乾燥重 / ha / 年．

種子に含まれる機能性タンパク質

1．濁水浄化タンパク質

水中に浮遊する濁質コロイド粒子の表面は負に帯電し，相互に反発し合い分散・懸濁状態にある．そのため，放置時間を長くしても，濁質コロイドが沈殿せず，濁度を低下させることが困難である．高濁度原水を浄化するための凝集剤として，硫酸アルミニウムやポリ塩化アルミニウムなどのアルミニウム塩系凝集剤がある．これらは水に加えると，正に荷電したアルミニウムヒドロキソ錯体が生じ，負に荷電したコロイド表面を中和する．その結果，濁質コロイドなどの微粒子が集合してフロックの成長が起こり，濁質物の沈殿が促進され，濁水浄水に役立っている．これまで，これら凝集剤は浄水場で広く用いられてきた．また，ポリアクリルアミドなどのカチオン系合成高分子凝集剤も利用されている．しかし，水中に残存するアルミニウムイオンがアルツハイマー病の危険因子であると指摘され，高分子凝集剤では有害な副生成物やモノマーの混在，生分解性の問題などがある（川原・黒田，1993; Okuda *et al.*, 2001a; Sajidu *et al.*, 2006）．

人体への毒性や蓄積性を回避するために，天然有機高分子系凝集剤が導入されている．例えば，カニ・エビ由来のキチンやキトサン，褐藻類由来のアルギン酸塩である（Kawamura, 1991）．また，微生物を用いたバイオ凝集剤の開発も進んでいる（Katayon *et al.*, 2005）．一方，熱帯性樹木の種子を利用した凝集・沈殿剤として，ワサビノキと *Strychnos potatorum*（ヒンディー語名 Nirmali；英名 Clearing nut tree）が古くから知られている（Yin, 2010）．

ワサビノキ種子の水抽出液は，水中の汚泥や生活廃水に含まれる微細な浮遊粒子を凝集・沈殿させて，清浄化する作用がある（図 2）．この作用はスーダンのアラブ婦人によって見出されたと言われており，ナイル河川水を飲料水や生活用水として利用する際に用いられていた（Jahn, 1988）．実際，その河川水にワサビノキ種子抽出液を投入したラボ実験から，水の濁度を低下させ，透明度を増す成分が含まれていることが確認された（Jahn and Hamid, 1979; Jahn, 1988）．また，水中に生息する住血吸虫のケルカリア幼虫や細菌を除去する効果も報告された（Olsen, 1987; Madsen *et al.*, 1987）．

濁水浄化に関わる種子成分（表 1）は，当初，6 ～ 16 kDa タンパク質であると想定されていた（Jahn, 1988）．その後，濁水浄化タンパク質として，6.5 kDa タンパク質（コード名，$MO_{2.1}$ または Flo）が分離された．それは, 60 アミノ酸残基（図 3）から構成され，グルタミン，アルギニン，プロリン含量が高いことが明らかになった（Gassen *et al.*, 1990; Gassenschmit *et al.*, 1991, 1995）．登熟過程の種子から mRNA を分離し，このアミノ酸配列情報を基に，RT-PCR（逆転写ポリメラーゼ連鎖反応）法により $MO_{2.1}$ タンパク質の cDNA を作成した．これを大腸菌のタンパク発現系に導入し，組換え $MO_{2.1}$ タンパク質を生産したところ，この組換え $MO_{2.1}$ タンパク質は土壌成分であるモンモリロナイト粒子の凝集，グラム陽性・陰性菌の凝集を引き起こすことが明らかになった（Broin *et al.*, 2002）．種子細胞では，$MO_{2.1}$ タンパク質が 2 量化した 13 kDa として存在し，単量体・2 量体とも濁水浄化活性があった（Ndabigengesere *et al.*, 1995）．また，クロマトグラフィーで分離すると，濁水浄化活性を示すタンパク質が少なくとも 4 成分が見つかり，isoform が存在していた（Ndabigenegesere *et al.*, 1995; Ghebremichael *et al.*, 2005）．$MO_{2.1}$ タンパク質は耐熱性があり，95℃，5 時間処理でも活性が維持されていた（Ghebremichael *et al.*, 2005）．また，分子サイズの異なる 66 kDa 濁水浄化タンパク質も見出されている（Agrawal *et al.*, 2007）．

一方，濁水浄化物質を高塩濃度液で抽出することにより，凝集・沈殿活性の上昇が見出された．その活性成分は 3 kDa の有機化合物であり，特異的な呈色反応から非タンパク性，非糖質性，非脂質性であった（Okuda *et al.*, 2001a）．その活性成分の凝集・沈殿機構は，ネット状構造が形成されて土壌粒子を捕捉すると報告されており（Okuda *et al.*, 2001b），$MO_{2.1}$ タンパク質による凝集・沈殿機構とは異なっていた．

2．バクテリア除去および抗バクテリアタンパク質

青ナイル川の洪水期の水を用いて，種子水抽出液の濁水浄化活性を調べると共に，水中に存在する大腸菌類の除菌活性が調べられた（Madsen *et al.*, 1987）．その結果，濁水の浄化能力に加えて，90％以上の大腸菌類を沈殿として取り除くことができた．さらに，河川水に *Escherichia coli*（大腸菌），*Streptococcus faecalis*（糞便レンサ球菌），*Salmonella trphimurium*（ネズミチフス菌），*Shigella sonnei*（赤痢菌）を人為的に混合した汚染水を調製し，それに水抽出液を投入し，

表 1. 種子に含まれる機能性タンパク質.

活　性	コード名	分子サイズ (kDa)	等電点 (pI)	文献
濁水浄化	−	6-16	−	1
濁水浄化 抗バクテリア	$MO_{2.1}$ (Flo)	6.5	10	2, 3, 4, 5, 6
濁水浄化	−	13 (2 量体)	10-11	7
濁水浄化 抗バクテリア	MOCP	6.5 >	> 9.6	8
濁水浄化	−	66	−	9
濁水浄化 レクチン 殺虫	cMoL	26.5 (ホモ 3 量体)	11.67	10, 11, 12
レクチン	MoL	14 (ホモ 2 量体)	10	13
レクチン・抗炎症 抗酸化・濁水浄化 昆虫産卵誘引 / 殺卵 抗バクテリア	WSMoL	20	酸性	14, 15, 16, 17
キチン結合 抗真菌	$Mo\text{-}CBP_3$	14.3	10.8	18, 19
キチン結合 抗炎症・鎮痛	$Mo\text{-}CBP_4$	28 + 18 (ヘテロ 2 量体)	−	20

1. Jahn (1988); 2. Gassenschmit *et al.* (1991); 3. Gassenschmit *et al.* (1995); 4. Broin *et al.* (2002); 5. Suarez *et al.* (2003); 6. Suarez *et al.* (2005); 7. Ndabigengesere *et al.* (1995); 8. Ghebremichael *et al.* (2005); 9. Agrawal *et al.* (2007); 10. Santos *et al.* (2009); 11. Oliveira *et al.* (2011); 12. Luz *et al.* (2013); 13. Katre *et al.* (2008); 14. Santos *et al.* (2005); 15. Ferreira *et al.* (2011); 16. Santos *et al.* (2012); 17. Araujo *et al.* (2013); 18. Gifoni *et al.* (2012); 19. Batista *et al.* (2014); 20. Pereira *et al.* (2011).

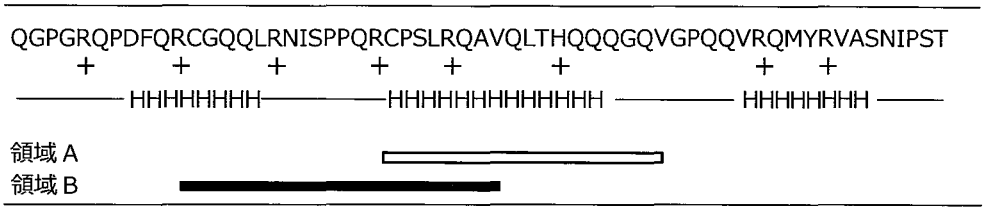

図 3. $MO_{2.1}$ タンパク質の全アミノ酸配列.
濁水浄化活性に関与する配列領域 (領域 A) および抗バクテリア活性に関与する配列領域 (領域 B).
+ : 塩基性アミノ酸 (正の電荷を持つ), H : α -helices の領域. (Suarez *et al.*, 2005)

その数時間後の菌数を数えた結果, これら菌の 90 ～ 99.99% が減少した. この結果から, ワサビノキ種子の水抽出液には濁水浄化活性とバクテリアを凝集・沈殿して, 除去できる活性を有することが明らかになった. しかし, 濁水浄化成分とバクテリア除去成分が同一物質であるか否かは明らかでなかった. また, バクテリアを凝集・沈降させる活性はあるが, 菌体に直接的に働く抗バクテリア活性があるかどうかについても明確でなかった. 実際, 水抽出液の処理水を 1 日放置すると菌数が大幅に増加したことから, 未沈降の残存菌に対する抗バクテリア活性はないと考えられていた.

この疑問点を解決するために, 組換え $MO_{2.1}$ タンパク質 (Broin *et al.*, 2002) を用いて濁水浄化活性と抗バクテリア活性が詳細に検討された. その結果, この組換え $MO_{2.1}$ タンパク質は土壌粒子の凝集・沈殿活性に加えて, グラム陽性・陰性菌の凝集を引き起こした. すなわち, 同一タンパク質で, 浮遊する土壌成分とバクテリアを同時に凝集・沈降させる活性があり, 汚染水からバクテリアを除去できることが実証された. さらに, 組換え $MO_{2.1}$ タンパク質を用いて, 数種類の抗生物質耐性菌 (*Staphylococcus*, *Streptococcus*, *Legionella*) などに対する抗バクテリア活性を調べると, これらバクテリア種を死滅させる活性があり, 単に凝集・沈殿させるだけではなく, 直接的にバクテリア菌体に作用していることが明らかになった (Suarez *et al.*, 2003). また, 他のグループが精製した MOCP 濁水浄化タンパク質 (表 1) についても, *E. coli*, *Pseudomonas aeruginosa* (緑膿菌), *Bacillus thuringiensis* (カイコ卒倒病菌) を用いた抗菌力試験で抗バクテリア活性が確認された (Ghebremichael *et al.*, 2005). これらの成果を基に, 濁水浄化活性に関わるアミノ酸配列領域と抗バクテリア活性に関わる配列

領域が特定された（Suarez *et al.*, 2005）．凝集・沈殿活性に関わる濁水浄化領域は，正に荷電したグルタミンが多く存在する部分である（図3，領域A）．一方，抗バクテリア活性は，helices-loop-helices 構造の部分で，loop 部位にプロリン2残基を有する部位であった（図3，領域B）．バクテリア外膜が標的部位であり，そこに直接的に損傷を与えることが判明した．すなわち，代謝機能阻害でなく，膜構造に作用することが示された．この抗バクテリア活性の領域配列を人為的に4つ組み合わせた合成ペプチドでは，抗バクテリア活性が上昇し，*P. aeruginosa* や *S. pyogenes*（化膿レンサ球菌）の増殖を低濃度で阻止した（Suarez *et al.*, 2005）．

なお，ワサビノキ種子から，上述したタンパク質以外にも抗バクテリアおよび抗真菌活性を有する有機化合物成分が抽出されている（Eilert *et al.*, 1981; Bukar *et al.*, 2010）．

3．レクチンタンパク質

レクチンとは糖鎖を特異的に認識するタンパク質であり，抗体や酵素とは異なる．ワサビノキ種子の水抽出液から，ウサギ赤血球凝集活性を示し，フラクトースでこの活性が阻害される 20 kDa レクチン（コード名，WSMoL）が分離された（表1）．このレクチンは，土壌粒子の凝集・沈殿活性，抗酸化活性，抗バクテリア活性を有しており（Santos *et al.*, 2005; Ferreira *et al.*, 2011），加えて，細胞毒性や抗炎症作用などの薬理的作用も確認された（Araujo *et al.*, 2013）．また，ネッタイシマカに対する産卵誘引活性，殺卵活性が調べられた結果，産卵誘引活性を有し，且つ，卵からの孵化率が低く，胚発生を阻害していた（Santos *et al.*, 2012）．

WSMoL レクチンとは異なり，等電点が 10 の2量体タンパク質（コード名 MoL：還元条件で 7.1 kDa，非還元条件では 14 kDa）が分離された（Katre *et al.*, 2008）．中性糖（1.5％）が結合した糖タンパク質である．MoL レクチンはウサギ赤血球凝集反応の活性が高く，複合糖鎖に対する結合特性があった．加えて，26.5 kDa タンパク質（コード名：cMoL）が分離され，赤血球凝集反応および土壌粒子の凝集・沈殿活性があることが見出された（Santos *et al.*, 2009）．このレクチンは 101 のアミノ酸残基（11.9 kDa）から成り立ち，$MO_{2.1}$ タンパク質のアミノ酸配列との類似性は 81％もあり，3量体を形成していると示唆された（Luz *et al.*, 2013）．この cMoL レクチンの応用展開として，貯穀害虫であるスジコナマダラメイガ幼虫に対する成育阻害活性が調べられた．その結果，このレクチンは消化管組織へ作用すると共に，消化液プロテアーゼの活性阻害を引き起こし，成長期間が長期化したり，蛹致死率の上昇が観察された（Oliveira *et al.*, 2011）．

4．キチン結合タンパク質

ワサビノキ種子からキチン結合タンパク質（コード名，Mo-CBP_3）が精製され，そのアミノ酸組成，二次構造，植物病原菌に対する抗菌性が調べられた（Gifoni *et al.*, 2012; Batista *et al.*, 2014）．このタンパク質は塩基性タンパク質（等電点：10.8）であり，糖鎖が結合していた（表1）．また，円偏光二色性（CD）スペクトルの測定解析から，（$\alpha+\beta$）タンパク質であり，30.3％の α-ヘリックス，16.3％の β-シート，22.3％のターン，30.4％の不規則構造から構成されていた．高温および幅広い pH 域に対して安定であり，植物病原菌である *Fusarium solani*, *F. oxysporum*, *Collectotrichum musae*, *C. gloesporioides* に対して静菌力のみならず抗菌力があった．*F. solani* を用いた試験では，胞子発芽のみならず菌糸成長も阻止した．その作用性は静電的に菌体表面に付着し，細胞膜構造の損傷，活性酸素の産生を引き起こすためと推定されている．

他にもキチン結合タンパク質（コード名，Mo-CBP_4）が見つかっている（表1）．糖結合型タンパク質で，28 kDa と 18 kDa から成る2量体であり，キチン結合能に加えて，特異な生理活性として抗炎症作用と鎮痛作用が報告されている（Pereira *et al.*, 2011）．

5．重金属捕捉タンパク質

ワサビノキの種子粉砕物や抽出物が重金属吸着材として注目されている（表2）．銀，ヒ素，カドニウム，クロム，銅，ニッケル，鉛，亜鉛の重金属に加え，フッ素（Vardham and Karthikeyan, 2011）や有機溶剤（ベンゼン，トルエン，エチルベンゼン，キシレン）なども吸着することが報告されている（Akhtar *et al.*, 2007; Almeida *et al.*, 2012）．種子から重金属吸着成分を分離・同定した報告は見当たらないが，土壌粒子の凝集・沈殿に関わる濁水浄化タンパク質が関与しているものと思われる．タンパク質の中には，金属電荷数やイオン半径のわずかな相違を識別して，金属と吸着するものがある．例えば，この性質を利用したヒスチジン・タグ法では，目的とするタンパク質のアミノ酸末端部に遺伝子工学的に複数個のヒスチジン残基を付加しておくと，ニッケルなどの金属イオン担体にヒスチジンのモチーフが吸着し，目的タンパク質を特異的に精製できる．

ワサビノキ種子に含まれるタンパク質のアミノ酸残基と金属イオンの相互作用より，吸着が起こると推定されるが，①溶液の pH の影響を受け，タンパク質1分子当たりの最大吸着量が変動する，②吸着速度は比較的速く，ニッケルやカドニウム溶液では接触後 20 ～ 30 分以内で吸着する（Mataka *et al.*, 2010; Raj *et al.*, 2010），③ Freudlich 吸着等温式や Langmuir 吸着等温式に従うなどの特性を持っている（Kumari *et al.*,

表 2. 重金属の除去能.

重金属	溶液中の金属濃度 (mgL^{-1})	除去率（%）	溶液 pH	文　献
Ag（Ⅰ）	25	93	6.5	Araujo *et al.* (2010)
As（Ⅲ）	25	60	7.5	Kumari *et al.* (2005)
As（Ⅴ）	25	86	2.5	Kumari *et al.* (2006)
Cd（Ⅱ）	4	100	7.8	Sajidu *et al.* (2006)
Cd（Ⅱ）	25	85	6.5	Sharma *et al.* (2006)
Cd（Ⅱ）	7	71	5	Mataka *et al.* (2010)
Cr（Ⅲ）	4	100	4	Sajidu *et al.* (2006)
Cr（Ⅲ）	25	81	6.5	Sharma *et al.* (2007)
Cr（Ⅵ）	50	88	2.5	Sharma *et al.* (2007)
Cu（Ⅱ）	4	60	6.0-8.0	Sajidu *et al.* (2006)
Cu（Ⅱ）	10	85	7	Acheampong *et al.* (2012)
Ni（Ⅱ）	25	76	6.5	Raj *et al.* (2010)
Ni（Ⅱ）	4	90	4.0-6.0	Marques *et al.* (2012)
Pb	7	98	10	Mataka *et al.* (2006)
Zn（Ⅱ）	4	100	4	Sajidu *et al.* (2006)
Zn（Ⅱ）	50	75	7	Bhatti *et al.* (2007)

2006; Akhtar *et al.*, 2007; Bhatti *et al.*, 2007; Sharma *et al.*, 2007; Araujo *et al.*, 2010; Mataka *et al.*, 2010; Almeida *et al.*, 2012; Marques *et al.*, 2012). また，金属に対する吸着親和力が調べられた結果，カドニウム（Ⅱ）＞クロム（Ⅲ）＞ニッケル（Ⅱ）の順であった (Sharma *et al.*, 2007).

6．染料除去タンパク質

河川汚染物質として，繊維関連工場から排出される染料がある．この染料を除去するために，化学吸着剤の使用は経済的負担が重く，特に途上国では受け入れ難い．近年，農業廃棄資材や生物吸着材の使用が検討されているが，ワサビノキの種子抽出物が有力な染色吸着･除去剤として評価されている．抽出物の処理量，染色剤の種類（アントラキノン系，インジゴ系，アゾ系など），溶液中の染色剤濃度や pH，処理温度などのパラメータ (Beltran-Heredia *et al.*, 2009a) を適正化すれば，高い染色除去率が得られている．例えば，Chicago Sky Blue 6B では 99 % (Beltran-Heredia and Sanchez-Martin, 2008)，Alizarin Violet 3R では 95 % (Beltran-Heredia *et al.*, 2009b)，Camine Indigo では 80% (Beltran-Heredia *et al.*, 2009c), Congo Red (Patel and Vashi, 2012; Raj *et al.*, 2013; Tie *et al.*, 2015) では 98 %，Methylene Blue では 90 % (Raj *et al.*, 2013)，Orange 7 (Marandi and Sepehr, 2011) では 60%であった．

7．界面活性剤除去タンパク質

家庭やクリーニング店などから排出される界面活性剤（洗剤）による水質汚染が報告されてから久しい．生分解性の高い洗剤やエコ対応の各種工業用洗浄剤の開発と共に，河川などの水資源から，低コストで界面活性剤を除去する手段が検討されている．ワサビノキ種子抽出液に，陰イオン界面活性剤であるラウリル硫酸ナトリウム (SLS) やエチレンオキサイドが付加された長鎖 SLS を吸着・除去する活性が見出されている (Beltran-Heredia and Sanchez-Martin, 2009d; Sanchez-Martin and Beltran-Heredia, 2010; Beltran-Heredia *et al.*, 2012).

種子に含まれる油脂成分

ワサビノキ種子に含まれる油脂含量は 33 ～ 41%である (Rashid *et al.*, 2008). 搾油により淡黄色の油脂が得られ，ベンオイルとして流通している．その脂肪酸組成を表 3 に示す．オレイン酸含量が高く，オリーブ油やアボカド油の脂肪酸組成に似ている．また，C20 以上の脂肪酸であるエイコセン酸，アラキドン酸，ベヘン酸，リグノセリン酸の含量が高く，他の天然油脂と比べて特徴的である (Foidl *et al.*, 2001). その他の油分としてステロール類が含まれており，β - シトステロール，スチグマステロール，カンペステロールが同定されている (Tsaknis *et al.*, 1999; Banerji *et al.*, 2009).

最近，植物油をバイオディーゼルとして利用する研究が進展している．パーム油，ダイズ油，ナタネ油など数種類の植物油だけで，世界の油脂需要を充足させるのではなく，その地域に産する植物油を利用して，その地域で消費する油脂を地産地消することを念頭に

表 3. 種子に含まれる油脂の脂肪酸組成.

脂肪酸	組成比（%）		
	ワサビノキ	アボカド	オリーブ
ミリスチン酸（C14:0）	0.1	−	−
パルミチン酸（C16:0）	5.9	12.4	9.8
パルミトレイン酸（C16:1）	1.1	4.6	0.6
ステアリン酸（C18:0）	5.1	0.5	3.2
オレイン酸（C18:1）	72.9	65.3	73.8
リノール酸（C18:2）	0.6	15.9	11.1
リノレン酸（C18:3）	0.1	1.0	0.4
エイコセン酸（C20:1）	2.3	0.2	−
アラキドン酸（C20:4）	3.6	−	−
ベヘン酸（C22:0）	7.3	−	−
リグノセリン酸（C24:0）	1.0	−	−

Holst (2000) から引用.

入れた研究である．例えば，インドでは国内に産する75種類の油脂資源植物に含まれる種子油の化学的性状が調べられ，油脂原料としての評価がなされた．その結果，ワサビノキを含めて26種類がバイオディーゼルの標準規格に適合していることが明らかになった（Azam *et al.*, 2005）．また，他のバイオディーゼルと比較すると，ディーゼル燃料の着火性を示すセタン価が高く，酸化安定性に優れていた（Rashid *et al.*, 2008）．インドはワサビノキの世界最大の栽培生産国であり（Pandey *et al.*, 2011），燃料としての新展開が期待される．

葉に含まれる栄養・保健成分

ワサビノキの葉，莢はタンパク質含量が高く，且つ，種々の無機物，ビタミンが含まれている（表 4）．豊富な栄養成分として，カルシウム，カリウム，鉄，ビタミンA（β-カロテン），ビタミンC（アスコルビン酸）が挙げられ，これらの成分を七訂日本食品標準成分表2015年版（文部科学省）に記載されている生野菜・果物類や乳製品と比較すると，カルシウムは普通牛乳の1.7倍，カリウムはバナナの1.3倍，鉄はホウレンソウの2.0倍であり，ビタミンAはトマトの8.4倍，ビタミンCは温州ミカンの1.3倍，イチゴの2.3倍である．アミノ酸についても，9種の必須アミノ酸が含まれている（Ramachandran *et al.*, 1980; Palada, 1996; Price, 2007; Foild *et al.*, 2001）．近年，ビタミンE（α型，β型，γ型トコフェノール）も含まれていることが報告された（Banerji *et al.*, 2009）．また，葉にはフラボノールであるケリセチン配糖体，ケンフェロール配糖体やクロロゲン酸類が含まれており，これらフェノール物質には抗酸化作用がある（Bennett *et al.*, 2003）．血圧降下作用があると言われているγ-アミノ酪酸（GABA）も0.3%含まれている（梶原ら，2008）．葉にはグルコシレートやイソチオシアネート類が微量含まれているが，タンニン，トリプシン阻害剤，アミラーゼ阻害剤，レクチンやその他の栄養阻害因子は含まれていないため（Makkar and Becker, 1996, 1997），栄養・保健用食材に適している．

表 4. 葉・莢に含まれる栄養成分.
（100 g 当たりの重量）

	生葉	生莢
カロリー（kcal）	64	37
水分含量（%）	78.7	88.2
主要素		
タンパク質（g）	9.40	2.10
脂肪（g）	1.40	0.20
炭水化物（g）	8.28	8.53
繊維質（g）	2.00	3.20
無機物		
Ca（mg）	185	30
Fe（mg）	4.00	0.36
Mg（mg）	42	45
P（mg）	112	50
K（mg）	337	461
Na（mg）	9.00	42
Zn（mg）	0.60	0.45
ビタミン類		
ビタミンA（μg）	4536	48
ビタミンB6（mg）	1.20	0.12
ビタミンC（mg）	52	141
チアミン（mg）	0.26	0.05
リボフラビン（mg）	0.66	0.07
ナイアシン（mg）	2.22	0.62
葉酸（μg）	40	44

USDA National Nutrient Database (2015) から引用.

利用の現状と今後の展望

ワサビノキは栽培が容易であり，旱魃に強い熱帯早生樹であり，現地の人々が日常生活で広く利用してい

る．その種子・葉・根には，多くの有用物質が含まれているため，ワサビノキを有効利用し，生活向上や商業化につなげることが試みられている．また，新たに見出された知見を基に，葉・種子の利用推進活動や工業用原料生産樹としての研究開発など多面的な取り組みが始まっている．

1．生活向上への取り組み

水質改善への利用：熱帯地方の途上国では化学凝集剤の購入に要する経済的負担のため，現地調達できるワサビノキ種子を用いた簡易浄水の期待が大きく，家庭レベルでの浄水マニュアルが公表されている（Doerr and ECHO staff, 2005）．また，南部マラウイではワサビノキ種子を用いた水処理施設が英国レスター大学との共同で造られ，河川水からの飲料水浄化に役立っている（Folkard and Sutherland, 2001）．

食生活改善への利用：ワサビノキの若葉や未熟な莢は軟らかく，グリーンサラダ，お浸し，カレー，ピックルズなどの野菜料理の食材として，また，未熟種子は緑豆と同じような調理食材として利用されている（Morton, 1991; Palada, 1996; Fahey, 2005; Pandey *et al.*, 2011）．東南アジア，アフリカでは，料理本が出版されるほど，野菜として一般化している．インド，タイ，フィリピンでは，莢を束にして一般市場で販売されているのをよく見かける．完熟種子から搾油してサラダ油，食油としても利用される．根には，辛味成分が含まれている．アブラナ科植物（ワサビ，ワサビダイコン，カラシナ，クロガラシ）に含まれるシニグリンはグルコシレート（カラシ油配糖体）の代表的なものであるが，ミロシン細胞にあるミロシナーゼの働きによりアリルイソチオシアネート（辛味成分）に変換される．ワサビノキの根にも，グルコシレートやイソチオシアネート類が含まれており香辛料として利用され，ワサビノキと称される所以である．

ガーナ，セネガル，バングラデシュなどでは，葉の乾燥粉末を栄養失調の防止のために，乳児，幼児，妊産婦の栄養サプリメントとして利用する取り組みが進められている（Price, 2007; Rahim *et al.*, 2007; Sauveur and Broin, 2011）．途上国における栄養失調の対策として，大いに役立つものと考えられる．この普及を主眼として，2001年タンザニアで第1回モリンガ国際会議が開催され，Moringa news network が組織化された．また，2006年には第2回会議がガーナで行われた．自国で栽培し，それを粉末化することは，経済的負担が少なく，且つ，速やかに推進できる事業であり，種々のNGO（非政府組織）が精力的に活動している．これら団体の取り組みは website から入手できる（Price, 2007; Holst, 2000; 日本モリンガ協会, 2011）．

2．新規活性物質の創製への期待

ワサビノキ種子由来の濁水浄化タンパク質の解析から，濁水浄化に関わるアミノ酸配列と抗バクテリア活性に関わるアミノ酸配列が決定された（図3）．この結果は，遺伝子工学手法やドラッグデザインによるペプチド合成法により，より強力な濁水浄化タンパク質や抗菌タンパク質の創製を予期させる．事実，種子から見出された活性ペプチドを組み合わせた新規抗バクテリア剤が開発された（Suarez *et al.*, 2005）．

ワサビノキ種子に含まれるキチン結合タンパク質は，細胞壁にキチンを含む植物病原菌に対して，幅広い抗菌スペクトルが期待される（Gifoni *et al.*, 2012; Batista *et al.*, 2014）．最近，このキチン結合タンパク質遺伝子が分離されたことから（Freire *et al.*, 2015），新奇な病原菌耐性遺伝子のソースになり，病害抵抗性トランスジェニック植物の創出研究が推進するものと思われる．

ワサビノキの葉，花，種子，莢，根，樹皮，樹液，種子油は民間伝承的に薬用として利用されてきた．それぞれの部位の薬用効果についての民間薬的な総説はあるが（Fahey, 2005; Anwar *et al.*, 2007; Mishra *et al.*, 2011），薬効を示す活性成分を同定した論文は極めて限られており，創薬につながるリード化合物が見つかる可能性を秘めている．

3．遺伝資源の探索・評価と工業用原料生産樹として開発

ワサビノキ栽培は，農村地域における食料作物であると同時に，換金作物の側面を持つ．食料または換金作物としての利用度は国情に応じて異なっているが，例えば，油脂は，(1) 精密機器類の潤滑油，(2) 皮膚や毛髪のバリアー機能の修復・保護と保湿などに効果があるため（Banerji *et al.*, 2009），スキンケアやヘアケア用のクリーム，乳液，ローションなどの香粧品基剤，(3) 花香などの芳香成分を油脂に吸収させて取り出すアンフラージュ法の吸収担体（Rashid *et al.*, 2008）として，栽培地域から海外に輸出されており，ワサビノキを換金作物として普及させ，それを収益源とした農村開発を目指す地域もある．

インドはワサビノキの原産国であり，遺伝的多様性に富んでおり，花・果実の形態的特長や食味を基にして，数種類の品種に分類されている（Ramachandran *et al.*, 1980; Morton, 1991; Pandey *et al.*, 2011）．また，種子に含まれる油脂の脂肪酸含量やその組成が異なる品種も報告されている（Banerji *et al.*, 2009）．これらの多様性を利用することにより，種々の産業用途に対応した栽培品種を育成することができ，工業用原料生産樹としての展開が期待される．

おわりに

ワサビノキ種子には，水中に浮遊する濁質コロイド粒子を凝集・沈殿化し，清浄化する濁水浄化タンパク質の存在が古くから知られていた．近年になり，濁水浄化機能だけでなく，抗バクテリア活性や重金属・染料・界面活性剤などの汚染物質の除去効果が明らかになり，種子には，‘水質’浄化タンパク質が含まれていることになる．報告された種々の機能性タンパク質の大半が強塩基性タンパク質であり（表 1），注目に値する．また，種々の作用が単一のマルチ機能タンパク質であるのか，または，複数のタンパク質が介在するのかは明らかではなく，今後の課題である．

抗バクテリア活性，レクチン活性，キチン結合活性を有するタンパク質が種子から見出されたことから，種子は病害虫被害から保護され，散布された場所での種子発芽が確保されていると考えられる．これらタンパク質の *in vivo* での生体防御機能に関する研究進展が待たれる．

本稿で取り上げた以外にも種子，葉には種々の活性成分が含まれており，これら成分本体が明確に解明されることにより，より付加価値の高い利用展開が拓かれるものと思われる．

謝　辞

本稿を草するに当たり，ご助言，ご協力いただいた日本モリンガ協会 田崎 央理事長にお礼申し上げます．

引用文献

Acheampong, M. A., J. P. C. Pereira, R. J. W. Meulepas, and P. N. L. Lens 2012. Kinetics modelling of Cu (II) biosorption on to coconut shell and *Moringa oleifera* seeds from tropical regions. Environ. Tech. **33**: 409-417.

Agrawal, H., C. Shee, and A. K. Sharma 2007. Isolation of a 66 kDa protein with coagulation activity from seeds of *Moringa oleifera*. Global J. Biotech. Biochem. **2**: 36-39.

Akhtar, M., S. M. Hasany, M. I. Bhanger, and S. Iqbel 2007. Sorption potential of *Moringa oleifera* pods for the removal of organic pollutants from aqueous solutions. J. Hazard. Mater. **141**: 546-556.

Almeida, I. L. S., N. R. A. Filho, M. I. R. Alves, B. G. Carvalho, and N. M. M. Coelho 2012. Removal of BTEX from aqueous solution using *Moringa oleifera* seed cake. Environ. Technol. **33**: 1299-1305.

Anwar, F., S. Latif, M. Ashraf, and A. H. Gilani 2007. *Moringa oleifera*: A food plant with multiple medicinal uses. Phytother. Res. **21**: 17-25.

Araujo, C. S. T., E. I. Melo, V. N. Alves, and N. M. M. Coelho 2010. *Moringa oleifera* Lam. seeds as a natural solid adsorbent for moal of Ag^{I} in aqueous solutions. J. Braz. Chem. Soc. **21**: 1727-1735.

Araujo, L. C. C., J. S. Agular, T. H. Napoleao, F. V. B. Mota, A. L. S. B. Barros, M. C. Moura, M. C. Coriolano, L. C. B. B. Coelho, T. G. Silva, and P. M. G. Paiva 2013. Evaluation of cytotoxic and anti-inflammatory activities of extracts and lectins from *Moringa oleifera* seeds. Plos One **8**: e81973.

Azam, M. W., A. Waris, and N. M. Nahar 2005. Prospects and potential of fatty acid methyl esters of some non-traditional seed oils for use as biodieasel in India. Biomass Bioenergy **29**: 293-302.

Banerji, R., A. Bajpai, and S. C. Verma 2009. Oil and fatty acid diversity in genetically variable clones of *Moringa oleifera* from Indian. J. Oleo Sci. **58**: 9-16.

Batista, A. B., J. T. A. Oliveira, J. M. Gifoni, M. L. Pereira, M. G. G. Almeide, V. M. Gomes, M. D. Cunha, S. F. F. Ribeiro, G. B. Dias, L. M. Beltramini, J. L. S. Lopes, T. B. Grangeiro, and I. M. Vasconcelos 2014. New insight into the structure and mode of action of *Mo*-CBP_3, an antifungal chitin-binding protein of *Moringa oleifera* seeds. Plos One **9**: e111427.

Beltran-Heredia, J. and J. Sanchez-Martin 2008. Azo dye removal by *Moring oleifera* seed extract coagulation. Coloration Technol. **124**: 310-317.

Beltran-Heredia, J., J. Sanchez-Martin, and A. Delgado-Regalado 2009a. Removal of dyes by *Moringa oleifera* seed extract. Study through response surface methodology. J. Chem. Technol. Biotechnol. **84**: 1653-1659.

Beltran-Heredia, J., J. Sanchez-Martin, A. Delgado-Regalado, and C. Jurado-Bustons 2009b. Removal of Alizarin Violet 3R (anthraquinoic dye) from aqueous solutions by natural coagulants. J. Hazard. Mat. **170**: 43-50.

Beltran-Heredia, J., J. Sanchez-Martin, and A. Delgado-Regalado 2009c. Removal of Carmine Indigo dye with *Moringa oleifera* seed extract. Ind. Eng. Chem. Res. **48**: 6512-6520.

Beltran-Heredia, J. and J. Sanchez-Martin 2009d. Removal of sodium lauryl sulfate by coagulation/flocculation with *Moringa oleifera* seed extract. J. Hazard. Mater. **164**: 713-719.

Beltran-Heredia, J., J. Sanchez-Martin, and M. Barrado-Moreno 2012. Long-chain anionic surfactants in aqueous solution. Removal by *Moringa oleifera* coagulant. Chem. Eng. J. **180**: 128-136.

Bennett, R. N., F. A. Mellon, N. Foidl, J. H. Pratt, M. S. Dupont, L. Perkins, and P. A. Kroon 2003. Profiling glucosinolates and phenolics in vegetative and reproductive tissues of the multipurpose trees *Moringa oleifera* L. (horseradich tree) and *Moringa stenopetala* L. J. Agric. Food Chem. **51**: 3546-3553.

Bhatti, H. N., B. Mumtaz, M. A. Hanif, and R. Nadeem 2007. Removal of Zn(II) ions from aqueous solution using *Moringa oleifera* Lam. (horseradish tree) biomass. Process Biochem. **42**: 547-553.

Broin, M., C. Santaella, S. Cuine, K. Kokou, G. Peltier, and T. Joet 2002. Flocculent activity of a recombinant protein from *Moringa oleifera* Lam. seeds. Appl. Microbiol. Biotechnol. **60**: 114-119.

Bukar, A., A. Uba, and T. I. Oyaeyi 2010. Antimicrobial profile of *Moringa oleifera* Lam. extracts against some food-borne microorganisms. Bayero J. Pure Appl. Sci. **3**: 43-48.

Doerr, B. and ECHO staff 2005. Moringa water treatment. ECHO Technical Note. [Online] http://www.echocommunity.org/（2015 年 11 月 20 日確認）.

Eilert, U., B. Wolters, and A. Nahrstedt 1981. The antibiotic principle of seeds of *Moringa oleifera* and *Moringa stenopetals*. Planta Med. **42**: 55-61.

Fahey, J. W. 2005. *Moringa oleifera*: A review of the medical evidence for its nutritional, therapeutic, and prophylactic properties. Part 1. Trees for Life J. [Online] http://www.tfljournal.org/article.php/20051201124931586（2015 年 11 月 20 日確認）.

Ferreira, R. S., T. H. Napoleao, A. F. S. Santos, R. A. Sa, M. G. Carneiro-da-Cunha, M. M. C. Morais, R. A. Silva-Lucca, M. L. V. Oliva, L. C. B. B. Coelho, and P. M. G. Paiva 2011. Coagulant and antibacterial activities of the water-soluble seed lectin from *Moringa oleifera*. Lett. Appl. Microbiol. **53**: 186-192.

Foidl, N., H. P. S. Makkar, and K. Becker 2001. The potential of *Moringa oleifera* for agricultural and industrial uses. In: Proceedings of the International Workshop "What development potential for Moringa products". Dares-Salaam (Tanzania) pp. 47-67.

Folkard, G. and J. Sutherland 2001. The use of *Moringa oleifera* seed as a natural coagulant for water and wastewater treatment. [Online] http://www.moringanews.org/documents/Folkard.doc (2015年11月20日確認).

Freire, J. E. C., I. M. Vasconcelos, F. B. M. B. Moreno, A. B. Batista, M. D. P. Lobo, M. L. Pereira, J. P. M. S. Lima, R. V. M. Almelda, A. J. S. Sousa, A. C. O. Monteiro-Moreira, J. T. A. Oliveirra, and T. B. Grangeiro 2015. Mo-CBP_3, an antifungal chitin-binding protein from *Moringa oleifera* seeds, is a member of the 2S albumin family. Plos One **10**: 1-24.

Gassen, H., U. Gassenschmidt, K. Jany, B. Tauscher, and S. Wolf 1990. Isolation and chemical characterization of flocculant active protein from *Moringa oleifera* Lam. Biol. Chem. Hoppe Seyler **371**: 760.

Gassenschmit, U., K. D. Jany, and B. Tauscher 1991. Chemical properties of flocculant active proteins from *Moringa oleifera* Lam. Biol. Chem. Hoppe Seyler **372**: 658-659.

Gassenschmit, U., K. D. Jany, B. Tauscher, and H. Niebergall 1995. Isoaltion and characterization of a flocculating protein from *Moringa oleifera* Lam. Biochim. Biophys. Acta **1243**: 477-481.

Ghebremichael, K. A., K. R. Gunaratna, H. Henriksson, H. Brumer, and G. Dalhammar 2005. A simple purification and activity assay of the coagulant protein from *Moringa oleifera* seed. Water Res. **39**: 2338-2344.

Gifoni, J. M., J. T. A. Oliveiva, H. D. Oliveiva, A. B. Batista, M. L. Pereira, A. S. Gomes, H. P. Oliveiva, T. B. Grangeiro, and I. M. Vasconcelos 2012. A novel chitin-binding protein from *Moringa oleifera* seed with potential for plant disease control. Biopolymers **98**: 406-415.

Holst, S. 2000. Moringa - Nature's medicine cabinet. Sierra Sunrise Pub. (CA, USA) pp.13-118.

Jahn, S. A. A. and D. Hamid 1979. Studies on natural water coagulants in Sudan, with special reference to *Moringa oleifera* seeds. Water SA. **5**: 90-97.

Jahn, S. A. A. 1988. Using *Moringa* seeds as coagulants in developing countries. J. Amer. Water Works Assoc. **90**: 43-50.

梶原 良・中津沙弥香・塩野忠彦・柴田賢哉・石原理子・坂本宏司・武藤徳男 2008. 高血圧自然発症ラットにおけるモリンガ葉水抽出物の抗高血圧作用. 日本食品科学工業学会誌 **55**: 183-185.

Katayon, S., M. J. M. M. Noor, M. Asma, L. A. A. Ghani, A. M. Thamer, I. Azni, B. C. Khor, and A. M. Suleyman 2005. Effects of storage conditions of *Moringa oleifera* seeds on its performance in coagulation. Bioresour. Technol. **97**: 1455-1460.

Katre, U. V., C. G. Suresh, M. I. Khan, and S. M. Gaikwad 2008. Structure-activity relationship of a hemagglutinin from *Moringa oleifera* seeds. Biol. Macromolec. **42**: 203-207.

川原正博・黒田洋一郎 1993. アルツハイマー病の危険因子としてのアルミニウム. 公衆生成研究 **42**: 520-525.

Kawamura, S. 1991. Effectiveness of natural polyelectrolytes in water treatment. J. Amer. Water Works Assoc. **83**: 88-91.

Kumari, P., P. Sharma, S. Srivastava, and M. M. Srivastava 2005. Arsenic removal from the aqueous system using plant biomass: A bioremedial approach. J. Ind. Microbiol. Biotech. **32**: 521-526.

Kumari, P., P. Sharma, S. Srivastava, and M. M. Srivastava 2006. Biosorption studies on shelled *Moringa oleifera* Lamarck seed powder: Removal and recovery of arsenic from aqueous system. Int. J. Miner. Process. **78**: 131-139.

Luz, L. d. A., M. C. C. Silva, R. d. S. Ferreira, L. A. Santana, R. A. Silva-Lucca, R. Mentele, and L. C. B. B. Coelho 2013. Structural characterization of coagulant *Moringa oleifera* lectin and its effect on hemostatic parameters. Int. J. Biol. Macromolec. **58**: 31-36.

Madsen, M., J. Schlundt, and E. F. E. Omer 1987. Effect of water coagulation by seeds of *Moringa oleifera* on bacterial concentrations. J. Trop. Med. Hyg. **90**: 101-109.

Makkar, H. P. S. and K. Becker 1996. Nutritional value and antinutritional components of whole and ethanol extracted *Moringa oleifera* leaves. Animal Feed Sci. Technol. **63**: 211-228.

Makkar, H. P. S. and K. Becker 1997. Nutrients and antiquality factors in different morphological parts of the *Moringa oleifera* tree. J. Agric. Sci (Cambrige) **128**: 311-322.

Marandi, R. and S. M. B. Sepehr 2011. Removal of orange 7 dye from wastewater used by natural adsorbent of *Moringa oleifera* seeds. Am. J. Environ. Eng. **1**: 1-9.

Marques, T. L., V. N. Alves, L. M. Coelho, and N. M. M. Coelho 2012. Removal of Ni (Ⅱ) from aqueous solution using *Moringa oleifera* seeds as a bioadsorbent. Water Sci. Technol. **65**: 1435-1440.

Mataka, L. M., E. M. T. Henry, W. R. L. Masamba, and S. M. Sajidu 2006. Lead remediation of contaminated water using *Moringa stenopetala* and *Moringa oleifera* seed powder. Int. J. Environ. Sci. Technol. **3**: 131-139.

Mataka, L. M., S. M. Sajidu, W. R. L. Masamba, and J. F. Mwatseteza 2010. Cadmium sorption by *Moringa stenopetala* and *Moringa oleifera* seed powders: Batch, time, temperature, pH and adsorption isotherm studies. Int. J. Water Resour. Environ. Eng. **2**: 50-59.

Mishra, G., P. Singh, R. Verma, S. Kumar, S. Srivastav, K. K. Jha, and R. L. Khosa 2011. Traditional uses, phytochemistry and pharmacological properties of *Moringa oleifera* plant: An overview. Der Pharmacia Lett. **3**(2): 141-164.

Morton, J. F. 1991. The horseradish tree, *Moringa pterygosperma* (Moringaceae) – A boon to arid lands? – Econ. Bot. **45**: 318-333.

Ndabigengesere, A., K. S. Narasiah, and B. G. Talbot 1995. Active agents and mechanism of coagulation of turbid waters using *Moringa oleifera*. Water Res. **29**: 703-710.

日本モリンガ協会 2011. [Online] http://ksvu.or.jp/xoc/moringahp/ (2015年11月20日確認).

Okuda, T., A. U. Baes, W. Nishijima, and M. Okada 2001a. Isolation and characterization of salt solution extracted active component from *Moringa oleifera* seed. Water Res. **34**: 405-410.

Okuda, T., A. U. Baes, W. Nishijima, and M. Okada 2001b. Coagulation mechanism of salt solution-extracted active component in *Moringa oleifera* seeds. Water Res. **35**: 830-834.

Oliveira, C. F. R., L. A. Luz, P. M. G. Paivalant, L. C. B. B. Coelho, S. Mrangoni, and M. L. R. Macedo 2011. Evaluation of seed coagulant *Moringa oleifera* lection (cMoL) as a bioinsecticidal tool with potential for the control of insects. Process Biochem. **46**: 498-504.

Olsen, A. 1987. Low technology water purification by bentonite clay and *Moringa oleifera* seed flocculation as performed in Sudanese villages: Effects on *Schistosoma mansoni* cercariae. Water. Res. **21**: 517-522.

Olson, M. 1999. The home page of the plant family Moringaceae. [Online] http://www.mobot.org/gradstudents/olson/moringahome.html (2015年11月20日確認).

Palada, M. C. 1996. Moringa (*Moringa oleifera* Lam.): A versatile tree crop with horticultural potential in the subtropical united states. HortSci. **31**: 794-797.

Palada, M. C. and L. C. Chang 2003. Suggested cultural practices for *Moringa*. International Cooperator's Guide AVRDC.

AVRDC pub # 03-545 (Taiwan). pp. 1-5.

Pandey, A., K. Pradheep, R. Gupta, E. R. Nayar, and D. C. Bhandari 2011. 'Drumstick tree' (*Moringa oleifera* Lam.): a multipurpose potential species in India. Genet. Resour. Crop Evol. **58**: 453-460.

Patel, H. and R. T. Vashi 2012. Removal of congo red dye from its aqueous solution using natural coagulants. J. Saudi Chem. Soc. **16**: 131-136.

Pereira, M. L., H. D. Oliveira, J. T. Oliveira, J. M. Gifoni, R. O. Rocha, D. O. Sousa, and L. M. Vasconcelos 2011. Purification of a chitin-binding protein from *Moringa oleifera* seeds with potential to relieve pain and inflammation. Protein Pept. Lett. **18**: 1078-1085.

Price, M. L. 2007. The moringa tree. ECHO Technical Note. [Online] http://www.echocommkunity.org/ (2015年11月20日確認).

Rahim, M. A., H. R. M. M. Anwar, M. S. Alam, B. C. Sarker, and M. A. Kabir 2007. *Moringa*: an indigenous minor vegetable can play a great role in nutrition and poverty alleviation in north western region of Bangladesh. Acta Hort (ISHS) **752**: 525-526.

Raj, K. R., A. Kardam, J. K. Arora, M. M. Srivastava, and S. Srivastava 2010. Neural network modeling for Ni (Ⅱ) removal from aqueous system using shelled *Moringa oleifera* seed powder as an agricultural waste. J. Water Resou. Protection **2**: 331-338.

Raj, K. R., A. Kardam, J. K. Arora, S. Srivastava, and M. M. Srivastava 2013. Adsorption behavior of dyes from aqueous solution using agricultural waste: Modeling approach. Clean Technol. Environ. Policy **15**: 73-80.

Ramachandran, C., K. V. Peter, and P. K. Gopalakrishnan 1980. Drumstick (*Moringa oleifera*): A multipurpose Indian vegetable. Econ. Bot. **34**: 276-283.

Rashid, U., F. Anwar, B. R. Moser, and G. Knothe 2008. *Moringa oleifera*: A possible source of biodiesel. Bioresour. Technol. **99**: 8175-8179.

Sajidu, S. M. I., E. M. T. Henry, I. Persson, W. R. L. Masamba, and D. Kayambazinthu 2006. pH dependence of sorption of Cd^{2+}, Zn^{2+}, Cu^{2+} and Cr^{3+} on crude water and sodium chloride extracts of *Moringa stenopetalav* and *Moringa olefeira*. Afr. J. Biotech. **5**: 2397-2401.

Sanchez, N. R., S. Ledin, and I. Ledin 2006. Biomass production and chemical composition of *Moringa oleifera* under different management regimes in Nicaragua. Agroforestry Sys. **66**: 231-242.

Sanchez-Martin, J. and J. Beltran-Heredia 2010. Surfactant-polluted surface water treatment with *Moringa oleifera* seed extract. Water Pract. Technol. **5**: 1-10.

Santos, A. F. S., A. C. C. Argolo, L. C. B. B. Coelho, and P. M. G. Paiva 2005. Detection of water soluble lectin and antioxidant component from *Moringa oleifera* seeds. Water Res. **39**: 975-980.

Santos, A. F. S., L. A. Luz, A. C. C. Argolo, J. A. Teixeira, P. M. G. Paiva, and L. C. B. B. Coelho 2009. Isolation of a seed coagulant *Moringa oleifera* lectin. Process Biochem. **44**: 504-508.

Santos, L. D. L., K. S. Moura, T. H. Napoleao, G. K. N. Santos, L. C. B. B. Coelho, D. M. do A. F. Navarro, and P. M. G. Paiva 2012. Ovipositional–stimulant and ovicidal activioties of *Moringa oleifera* lectin on *Aedes aegypti*. Plos One **7**: e44840.

Sauveur, A. S. and M. Broin 2011. Growing and processing moringa leaves. Moringanews/Moringa association of Ghana (Ghana) pp. 1-70.

Sharma, P., P. Kumari, M. M. Srivastava, and S. Srivastava 2006. Removal of cadmium from aqueous system by shelled *Moringa oleifera* Lam. seed powder. Bioresour. Technol. **97**: 299-305.

Sharma, P., P. Goyal, and S. Srivastava 2007. Biosorption of trivalent and hexavalent chromium form aqueous sysytems using shelled *Moringa oleifera* seeds. Chem. Speciation Bioavailability **19**: 175-181.

Suarez, M., J. M. Entenza, C. Doerries, E. Meyer, L. Boquin, J. Sutherland, I. Marison, P. Moreillon, and N. Mermod 2003. Expression of a plant-derived pepetide harbouring water-cleaning and antimicrobial activities. Biotechnol. Bioeng. **81**: 13-20.

Suarez, M., M. Haenni, S. Canarelli, F. Fisch, P. Chodanowski, C. Sevis, O. Michielin, R. Freitag, P. Moreillon, and N. Mermod 2005. Structure-function characterization and optimization of a plant-derived antibacterial peptide. Antimicrob. Agents Chemother. **49**: 3847-3857.

Tie, J., P. Li, Z. Xu, Y. Zhou, C. Li, and X. Zhang 2015. Removal of congo red from aqueous solution using *Moringa oleifera* seed cake as natural coagulant. Desalination Water Treat. **54**: 2817-2824.

Tsaknis, J., S. Lalas, V. Gergis, V. Dourtoglou, and V. Spiliotis 1999. Characterization of *Moringa oleifera* variety Mbololo seed oil of Kenya. J. Agric. Food Chem. **47**: 4495-4499.

USDA (2015) Agriculture Research Service. USDA national nutrient database for standard reference, release 28. [Online] http://ndb.nal.usda.gov/ (2015年11月20日確認).

Vardham, C. M. and J. Karthikeyam 2011. Removal of fluoride from water using low-cost materials. Int. Water Technol. J. **1**: 120-130.

Yin, C.-Y. 2010. Emerging usage of plant-based coagulants for water and wastewater treatment. Process Biochem. **45**: 1437-1444.