

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年5月31日現在

機関番号：82105

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21380101

研究課題名（和文） 種子消費者との相互作用に基づいたコナラ属種子に含まれるタンニンの機能解明

研究課題名（英文） Elucidating the role of tannins included in seeds of oak trees in relation to interactions with seed consumers.

## 研究代表者

島田 卓哉（SHIMADA TAKUYA）

独立行政法人森林総合研究所・東北支所・主任研究員

研究者番号：10353723

研究成果の概要（和文）：堅果（ドングリ）の化学成分組成の持つ生態学的な意義を解明するために、堅果 10 種の栄養素及びタンニン類について分析し、比較を行った。その結果、堅果の成分には著しい種間及び種内変異があること、非構造性炭水化物（主にデンプン質）とタンニンとの間にはトレードオフの関係があることを明らかにした。また、種子の形質が、種子消費者の活動を通じて、種子の生存過程と母樹の繁殖成功に影響することを明らかにした。

研究成果の概要（英文）：In order to clarify the ecological role of seed chemical compositions of oaks *Quercus* spp., the content of chemicals (major nutrients and tannins) in seeds were analyzed for 10 species of Japanese oaks. As a result, notable inter- and intraspecific variations in chemical compositions were found even among closely related species. Further, a trade-off was recognized between the contents of nonstructural carbohydrates and tannins. In addition, it was proved that seed traits had substantial influences on seed fates and thereby the reproductive success of the mother trees via interactions with seed consumers.

## 交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	5,000,000	1,500,000	6,500,000
2010年度	2,400,000	720,000	3,120,000
2011年度	2,100,000	630,000	2,730,000
年度			
年度			
総計	9,500,000	2,850,000	12,350,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：森林学・森林科学

キーワード：動物-植物相互作用，コナラ属樹木，化学成分組成，タンニン，種子消費者，種子の生存過程，近赤外分光分析，野ネズミ

## 1. 研究開始当初の背景

堅果（コナラ属樹木の種子）は森林に生息する動物にとって貴重な餌である。そのため、堅果は総じて栄養価に富む高質な資源であると考えられてきた。ところが、被食防御物質であるタンニンを初めとする堅果の化学

成分組成は近縁種間でも著しく異なり、資源としての質が同等ではないことが明らかになってきた。

種子の化学成分組成の決定は、様々な要因が関わる複雑なプロセスである。発芽や成長のための生理的要求を満たす必要があるば

かりではなく、捕食者に対する化学的防御や種子散布者に対する誘引など種子消費者との相互作用も成分組成に影響する。

このように多様な成分組成は、資源や系統的な制約の中で、種ごとに様々なバランスの取り方（資源投資戦略）があることを反映していると考えられる。したがって、多様な化学組成の持つ意義を解明するためには、個々の成分が種子の生存にとってどのような生理学的・生態学的な効果を持つのかを明らかにするだけでは不十分であり、セットとしての化学組成がどのような特性を持つのかを明らかにすることが必要である。

## 2. 研究の目的

本研究では、堅果の化学成分組成の生態学的な意義を明らかにするために、以下の研究を行った。

### (1) 堅果の化学成分組成及び成分間の関係の解明

日本産堅果 10 種について、個々の種子レベルで栄養素及びタンニンなどの化学成分を測定し、成分間の関係を解析し、成分間のトレードオフの存在を検証する。

### (2) 堅果の化学成分組成が種子の生存過程及び母樹の繁殖成功に与える影響の解明

野外調査地に落果するコナラ堅果の化学成分組成を近赤外分光法で非破壊的に測定後、各種子の生存過程を追跡し、化学成分が堅果の生存過程へ及ぼす影響を解明する。

## 3. 研究の方法

### (1) 堅果の化学成分組成及び成分間の関係の解明

盛岡近郊で 2 種（カシワ、ミズナラ）及び京都近郊で 8 種（コナラ、ナラガシワ、アベマキ、クヌギ、アラカシ、イチイガシ、シラカシ、ツクバネガシ）の堅果を採集した。（原則として、5 母樹から 20 種子）採集した堅果は、部位別（外種皮、内種皮、子葉）に分離し、秤量後、以下の項目について分析を行った。粗タンパク質（NC アナライザーによる定量）、非構造性炭水化物（硫酸フェノール法）、総フェノール量（Price-Butler 法）、縮合タンニン量（acid BuOH 法）、およびタンニンのタンパク質吸着能力（radial diffusion 法）。分析結果をもとに、成分間の関係を解析し、タンニンと他の成分との間のトレードオフの検証を行った。

### (1) 堅果の化学成分組成が種子の生存過程及び母樹の繁殖成功に与える影響の解明

岩手大学滝沢演習林内に設定した調査区内のコナラ対象木約 30 本からシードトラップを用いて堅果を回収し、健全種子について個々の種子のサイズ及びタンニン含有率を

非破壊的に測定した。これらの堅果は個別にナンバリングを行った後、母樹下に散布し、その後の生存過程の追跡を行った。翌春に調査区内でナンバリングした種子を探索し、種子の運命（捕食、腐朽、実生として生存など）を明らかにした。また、実生の発生位置から、その種子が野ネズミなどによる散布を受けたものかどうかを判定した。これらの情報から、堅果の生存過程と種子の形質との関係を解析した。解析は、個々の種子の形質がどのような影響を種子の生存過程に及ぼすかという視点と母樹ごとの種子形質の平均及びばらつきがどのような影響を母樹の繁殖成功に及ぼすかという視点から行った。

## 4. 研究成果

### (2) 堅果の化学成分組成及び成分間の関係の解明

子葉の化学成分の種間比較の結果、コナラ亜属はアカガシ亜属に比べ、縮合タンニン含有率が低く、タンパク質含有率が高い傾向が認められた。また、クラスター分析によって、2 つの亜属及びアカガシ亜属の 4 種は独立のクラスターに分類されたが、コナラ亜属の 6 種は独立したクラスターを形成しなかった。

子葉のタンニン類の含有率は、ツクバネガシ、ミズナラ、コナラで平均 10% 以上（総フェノール% として）と高い値を示したのに対し、イチイガシは平均約 4% と最も低い値を示した。子葉に含まれる化学成分間の関連を解析したところ、非構造性炭水化物含有率と総フェノール含有率あるいはタンニンのタンパク質吸着能との間に強い負の相関が認められ、両成分間のトレードオフが示唆された。

さらに、内種皮の成分分析の結果、内種皮率（内種皮乾重/子葉乾重）と内種皮タンニン含有率との間に正の相関が認められた。コナラ、ミズナラ、イチイガシは、内種皮率が高く、内種皮タンニン含有率も高いため、内種皮の防御に多くの投資を行っていると考えられる。この特徴の意義は現時点では不明であるが、何らかの共通の生態学的要因によってこのような内種皮への高い物理的・化学的防御投資が進化したものだと推測出来る。

本成果は、堅果類の化学成分とその相互作用を、種子レベルで解析した初めての研究である。その結果、同亜属内でも著しい種間変異があることが明らかになり、化学成分の違いと種生態との関係を解明する第一歩となるものと期待される。また、構造性炭水化物とタンニン類とのトレードオフの発見は、種子の化学成分が種子及び実生の生存過程に及ぼす影響を解明する上で、重要な知見となると考えられる。

### (3) 堅果の化学成分組成が種子の生存過程及び母樹の繁殖成功に与える影響の解

明

追跡を行った健全種子約 9000 粒のほぼ半数を発見し、生存過程を明らかにした。

① 個々の種子レベルの視点

種子散布と種子の形質（サイズ、タンニン含有率）との関係を個々の種子レベルで解析したところ、タンニン含有率が低く大型の種子が散布をされやすいことが判明した。一方、種子の実生発生段階までの生存と形質との関係を解析したところ、タンニン含有率が高く小型の種子が生き残りやすいことが判明した。すなわち、種子散布と生存とは、逆方向の選択圧が存在していることが明らかになった。

② 母樹レベルの視点

コナラ母樹の繁殖成功（散布成功及び実生発生成功）と種子形質との関連を解析したところ、散布成功は、種子サイズの平均が大きくばらつきが大きい母樹ほど高い傾向が認められた。これは主要な散布者であるアカネズミが大型の種子を選択的に散布する傾向を反映した結果であると考えられた。また、実生発生成功は、種子サイズの平均とばらつきが小さく、タンニン含有率のばらつきが大きい母樹ほど、高いことが示された。主要捕食者であるアカネズミは、大型の種子を突らせる母樹のもとで選択的に採餌する傾向を持つことが示された。さらに、この結果は、タンニン含有率に対しては、母樹の平均よりもむしろばらつきが採餌行動に影響することが示している。本研究によって、種子形質の平均値ばかりではなく、ばらつきの程度が植物個体の繁殖成功に重要な影響を持つことが示された。種子の化学形質のばらつきと母樹の繁殖成功との関係を検証した研究は、世界的に見ても初めての事例である。

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計 10 件）

- (1) A. Nakajima, S. Koike, T. Masaki, T. Shimada, C. Kozakai, Y. Nemoto, K. Yamazaki, K. Kaji (2012) Spatial and elevational variation in fruiting phenology of a deciduous oak (*Quercus crispula*) and its effect on foraging behavior of the Asiatic black bear (*Ursus thibetanus*). Ecological Research, 27:529-538. (査読有)
  - (2) T. Shimada, E. Nishii, T. Saitoh. (2011) Interspecific differences in tannin intakes of forest-dwelling rodents in the wild revealed by a new method using fecal proline content. Journal of Chemical Ecology, 37:1277-1284. (査読有)
  - (3) A. Takahashi, M. Shibata, T. Shimada. (2011) Variation in seed production schedule among individual trees of a deciduous oak species *Quercus serrata*: its relation to seed characteristics. Plant Ecology, 212:1527-1535. (査読有)
  - (4) A. Takahashi, T. Shimada, S. Kawano. (2011) Nondestructive measurement of tannin content in seeds of *Quercus serrata*. Ecological Research, 26:679-685-99. (査読有)
  - (5) A. Takahashi, Y. Ichihara, Y. Isagi, T. Shimada (2010) Effects of acorn tannin content on infection by the fungus *Ciboria batschiana*. Forest Pathology, 40:96-99. (査読有)
- 〔学会発表〕（計 16 件）
- (1) T. Shimada, K. Osumi, Seed chemical characteristics in 10 Japanese oak species: interspecific differences and tradeoffs among chemical components, 第 59 回日本生態学会、2012/3/18、龍谷大学（瀬田市）
  - (2) K. Izumi, T. Shimada, T. Saitoh, Does the Japanese wood mouse inherit tannin tolerance? -An insight into geographic variation of the physiological trait, 第 59 回日本生態学会、2012/3/18、龍谷大学（瀬田市）
  - (3) 島田卓哉、高橋明子、柴田銃江、種子形質のばらつきの大きさがコナラ母樹の繁殖成功に影響する。第 58 回日本生態学会、2011/3/10、札幌コンベンションセンター（札幌市）
  - (4) 泉佳代子、島田卓哉、齊藤隆、アカネズミにおけるタンニンへの馴化成功のプロセスを探る、第 58 回日本生態学会、2011/3/10、札幌コンベンションセンター（札幌市）
  - (5) T. Shimada, A. Takahashi, M. Shibata, Effects of seed traits on some fitness components of mother trees in a deciduous oak, *Quercus serrata*, 2010 年度個体群生態学会、2010/9/22、横浜国立大学（横浜市）
  - (6) 島田卓哉、西井絵里子、齊藤隆、高橋明子、柴田銃江、野外における野ネズミのタンニン摂取量推定から明らかになったこと—ドングリは秋冬限定の餌ではない—、2010 年度哺乳類学会・野生生物保護学会合同大会、2010/9/18、岐阜大学（岐阜市）
  - (7) T. Shimada, A. Takahashi, M. Shibata, Effects of subindividual variation in seed traits on seedling establishment

- success in a deciduous oak, *Quercus serrata*, 5th International Symposium-Workshop on Frugivory and seed dispersal, 2010/6/14, Le Corum (Montpellier, France)
- (8) A. Takahashi, M. Shibata, T. Shimada, Effects of seed characteristics on the individual seed fates of a deciduous oak species *Quercus serrata*, 5th International Symposium-Workshop on Frugivory and seed dispersal, 2010/6/14, Le Corum (Montpellier, France)
- (9) 高橋明子、柴田銃江、島田卓哉、個々の種子の形質が当年生実生の生存過程に与える影響—コナラ種子における非破壊成分分析法を用いたアプローチ—、第57回日本生態学会、2010/3/16、東京大学（東京）
- (10) T. Shimada, E. Nishii, T. Saitoh, Estimating tannin intake level of forest-dwelling rodents in the wild using fecal proline content, 10th International Mammalogical Congress, 2009/8/13, Mendoza Convention Center (Mendoza, Argentina)

[図書] (計2件)

- (1) 島田卓哉 (2011) 森林と動物との相互作用、「森林生態学」、共立出版、東京、Pp. 189-204.
- (2) T. Shimada (2009) Acorns as a resource for forest-dwelling mammals in Japan, “The Wild Mammals of Japan”, Shokado, Kyoto, Pp. 198-200

[その他]

- (1) アウトリーチ活動  
生態学教育プログラム「人と自然と生態学」(主催：岩手生態学ネットワーク)、実行委員及び講師 (2010/1/30)  
<http://biology-ee.iwate-med.ac.jp/einet/index.html>
- (2) 報道関連 (研究成果紹介記事)  
「ネズミとどんぐり攻防戦」. 朝日新聞, 土曜ナントカ学. 2009/12/12

6. 研究組織

(1) 研究代表者

島田 卓哉 (SHIMADA TAKUYA)  
独立行政法人森林総合研究所・東北支所・主任研究員  
研究者番号：10353723

(2) 研究分担者

大住 克博 (OSUMI KATSUHIRO)

独立行政法人森林総合研究所・関西支所・主任研究員  
研究者番号：60353611  
高橋 明子 (TAKAHASHI AKIKO)  
首都大学東京大学院・理工学研究科・客員研究員  
研究者番号：60568236

(3) 連携研究者

齋藤 隆 (SAITOH TAKASHI)  
北海道大学・北方生物圏フィールド科学センター・教授  
研究者番号：00183814  
柴田 銃江 (SHIBATA MITSUE)  
独立行政法人森林総合研究所・東北支所・グループ長  
研究者番号：10343807  
大澤 朗 (OSAWA RO)  
神戸大学・自然科学研究科・教授  
研究者番号：10253189