

研究種目：基盤研究(B)
 研究期間：2006～2008
 課題番号：18380014
 研究課題名（和文） 安定同位体自然存在比を利用した作物のシンク機能・生理ストレスの解析
 研究課題名（英文） Analysis of the assimilate partitioning to sink organs of plants grown stress conditions using stable isotope signatures.
 研究代表者
 巽 二郎 (TATSUMI JIRO)
 京都工芸繊維大学・生物資源フィールド科学教育研究センター・教授
 研究者番号：00163486

研究成果の概要：炭素と窒素の安定同位体である ^{13}C と ^{15}N の存在比は作物体の器官間で異なっている。この差異は水ストレスや窒素欠乏ストレス，また窒素栄養源により大きく変動することが示された。またこれらの変動パターンは遺伝系統や生育時期などの影響を受けることが明らかとなった。安定同位体比の変動は光合成活性や硝酸還元，物質転流・蓄積作用などの生理機能と密接に関連していることが推察された。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	7,000,000	2,100,000	9,100,000
2007年度	4,100,000	1,230,000	5,330,000
2008年度	3,900,000	1,170,000	5,070,000
年度			
年度			
総計	15,000,000	4,500,000	19,500,000

研究分野：資源植物学

科研費の分科・細目：農学 ・ 作物学・雑草学

キーワード：(1) 植物 (2) 作物学 (3) 植物生理学 (4) 植物生産学 (5) 同位体科学

1. 研究開始当初の背景

最近、 ^{13}C と ^{15}N の δ 値(同位体自然存在比)を生理機能の総合指標として利用した、植物のストレス応答に関する研究が新たな分野として展開しはじめている。しかし植物体内における δ の分布とその生理的意義に関する研究はまだ非常に少ない。

2. 研究の目的

水ストレスなどが作物の発育と物質集積および光合成に及ぼす影響について安定同位体自然存在比を用いて解析する。

3. 研究の方法

^{13}C と ^{15}N の δ 値の器官間の分布に及ぼすストレスと栄養源の影響を遺伝的背景や生育特性が異なる作物を材料として解析する。

4. 研究成果

1) 圃場に生育した4年生のウラルカンゾウの根系を土壌深度別に採取し、グリチルリチン(GL)含有率、 $\delta^{15}\text{N}$ 、 $\delta^{13}\text{C}$ を求めた。根における $\delta^{15}\text{N}$ の分布パターンは主根と分枝根ともに根の土壌深度が深くなるほど高くなる傾向を示した。地上部では果実が最も高く、次いで、茎の順であり、ストロンでは最も低かった。 $\delta^{13}\text{C}$ の植物体内の変異は少なく、 $\delta^{15}\text{N}$ と $\delta^{13}\text{C}$ との間には有意な相

関が認められなかった。いっぽう GL 含有率の根系における分布は、主根では深い部位で高く、これに対して分枝根では浅い部位で高かった。GL と $\delta^{15}\text{N}$ の間には根系全体としては相関が認められなかったが、主根と分枝根に分けた相関では主根において正の相関が、これとは反対に分枝根では負の相関が認められた。また GL 含有率と $\delta^{13}\text{C}$ との間には主根において正の相関が、分枝根で負の相関が認められた。以上のことから、GL の蓄積と $\delta^{15}\text{N}$ および $\delta^{13}\text{C}$ の間に密接な関係が存在することが示唆された。また主根と分枝根においてそれらの相関関係が異なっていたことは、同じシンクであっても主根と分枝根との間で GL 蓄積のメカニズムが異なっている可能性を示している。

2) ストレスがイネ体内における安定同位体自然存在比の分布に及ぼす影響について、土壤水分勾配法を用いて調べた。その結果、土壤水分が多い場合では日本晴、カラサスともに器官間の $\delta^{13}\text{C}$ の分布に有意な差は認められず、光合成同化産物の分配に大きな差異はなかった。しかし $\delta^{13}\text{C}$ のレベルは全体的にカラサスの方が低く、気孔開度のちがいを反映していた。乾燥条件ではカラサスの穂における $\delta^{13}\text{C}$ 値が高くなり、穂への光合成同化産物の転流が阻害されたと推定された。一方日本晴では大きな変化が認められなかった。このように水ストレスと穂の $\delta^{13}\text{C}$ の分布との間に相関が認められた。

3) アンモニア栄養ではイネの $\delta^{15}\text{N}$ は葉よりも根で高く、硝酸栄養ではこの逆の傾向であった。器官間における $\delta^{15}\text{N}$ 値の変動幅は、アンモニア栄養よりも硝酸栄養で大きく、開花期よりも成熟期で大きかった。これはアンモニア同化が根に局在しているためと考えられた。水ストレスによりアンモニア栄養で変動幅がやや拡大したが、硝酸栄養では縮小した。これは活発な硝酸還元作用が器官間の $\delta^{15}\text{N}$ 変動幅の拡大をもたらすことを示唆している。両栄養区を通じて高い $\delta^{15}\text{N}$ 値を示す器官は穂、止葉、葉などであったが、根が茎葉部と比較して常に低い傾向を示すとは限らなかった。いっぽう稈基部ではストレス処理にかかわらず常に低い $\delta^{15}\text{N}$ 値を示した。これは稈基部が N 代謝・転流において特異的な役割を果たしているためと推察された。

以上の結果、安定同位体自然存在比の植物体における分布が、光合成、窒素同化、物質転流・蓄積などの生理機能を総合的に反映していることが示唆された。この解析方法はとくに圃場条件下で生育する作物の生理状態の解析に有望である。また根シンク器官において、 $\delta^{15}\text{N}$ の特徴的な勾配をはじめて見出したが、他のシンク器官において同様な現象が存在するかどうか、またシンク能をはじめ

とした生理的意義についてさらに検討が必要である。

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 14 件)

1. S. Somasundaram, T. P. Rao, J. Tatsumi and M. Iijima 2009. Rhizodeposition of Mucilage, Root Border Cells, Carbon and Water under Combined Soil Physical Stresses. *Plant Production Science* 12, in press. (査読有)
2. 半場祐子 2009. 炭素安定同位体比を用いた葉内 CO_2 輸送の分析. 日本作物学会紀事, 印刷中 (査読有)
3. 半場祐子 2009. 炭素安定同位体測定法. 低温科学, 印刷中 (査読有)
4. M. Katsuhara and Y. T. Hanba 2008. Aquaporins mediate the transport of essential molecules in plants growing in various environments. *Pfluger Archiv - Eur J Physiol.* 456:687-691. (査読有)
5. Suralta, R. R., Inukai Y. and Yamauchi, A. 2008. Utilizing chromosome segment substitution lines (CSSLs) for evaluation of root responses under transient moisture stresses in rice. *Plant Production Science* 11: 457-465. (査読有)
6. Y. Tazoe, Y. T. Hanba, T. Furumoto, K. Noguchi and I. Terashima. 2008. Relationships between quantum yield for CO_2 assimilation, activity of key enzymes and CO_2 leakiness in *Amaranthus cruentus*, a C_4 dicot, grown in high or low light. *Plant Cell Physiology* 49:19-29. (査読有)
7. M. Katsuhara, Y. T. Hanba, K. Shiratake and M. Maeshima 2007. Extended roles of plant aquaporins in plasma membranes and endomembranes: Diversity of plant aquaporins in physiological function and intracellular localization. *Functional Plant Biology*: 35 : 1-14. (査読有)
8. 巽二郎. 2007. 根の形態測定法: フラクタル解析の利用. 日本作物学会紀事 76: 604-609. (査読有)
9. 巽二郎 2007. 根の生理作用と機能 グリーンエイジ 34 : 4-8. (査読無)
10. 巽二郎 2007. 資源植物の生産力と環境保全機能 環境 19 : 30-43. (査読無 <http://repository.lib.kit.ac.jp/dspace/handle/10212/1801>)
11. 半場祐子 2007. 生態学の視点から見た植

物生理機能の環境応答—炭素安定同位体比を用いた解析 日本生態学会誌 57: 361-368. (査読有)

12. Khadka, J. and Tatsumi, J. 2006. Alteration in intra-plant distribution of $\delta^{15}\text{N}$ in response to shading in legumes. *Plant Production Science* 9(3): 219-227. (査読有)
13. Khadka, J. and Tatsumi, J. 2006. Difference in $\delta^{15}\text{N}$ signatures among plant parts of perennial species subjected to drought stress with special reference to the contribution of symbiotic N_2 -fixation to plant N. *Plant Production Science* 9 (2): 115-122. (査読有)
14. 鶴飼邦明・小野好一・巽 二郎 2006. ムラサキ (*Lithospermum erythrorhizon*) 根系におけるシコニン分布 近畿作物育種研究 51: 27-30. (査読有)

[学会発表] (計 24 件)

1. 廣瀬大介. 施肥窒素の種類がアルファルファの生育, 窒素吸収並びに根系発達に及ぼす影響 日本草地学会第 65 回発表会 (2009 年 3 月 30 日, 日本大学, 藤沢市)
2. 狩野麻奈・犬飼義明・山内章. イネ染色体部分置換系統群を用いた乾燥ストレス下の地上部乾物生産における根系の発育的可塑性の機能的役割に関する評価. 日本作物学会第 227 回講演会. 2009 年 3 月 28 日. つくば国際会議場
3. 住友一仁・巽二郎. 湿生植物の通気組織の形態と機能: 特にハス葉身中央部の構造について 近畿作物育種研究会第 166 回例会 (2008 年 12 月 13 日, 神戸大学)
4. 堀内達也・巽二郎. 油料ヤブツバキの根圏機能, とくにリン可溶性能について 近畿作物育種研究会第 166 回例会 (2008 年 12 月 13 日, 神戸大学)
5. 妹尾俊吾・巽二郎. 窒素源の違いと水ストレスがイネ器官間の $\delta^{15}\text{N}$ 分布に及ぼす影響 日本作物学会第 226 回講演会 (2008 年 9 月 24 日, 神戸大学)
6. 半場祐子. 植物の水チャンネルと水利用効率・生産性との関係 近畿作物育種研究会第 165 回例会 (2008 年 6 月 7 日, 京都工芸繊維大学)
7. 半場祐子・且原真木. 植物の光合成と水チャンネル 第 55 日本生態学会 (2008 年 3 月 27 日福岡国際会議場)
8. 藤野貢祐・及川真平・半場祐子. 第 55 日本生態学会 (2008 年 3 月 27 日福岡国際会議場)
9. 岩崎郁子・小村理行・佐藤圭介・半場祐子・鈴木英治・佐藤朗・北川良親・原光二郎・小峰正史・山本好和・伊藤繁. 地衣類共

生ラン藻の地衣体内環境と光合成 第 49 回日本植物生理学会 (2008 年 3 月 20 日札幌コンベンションセンター)

10. 狩野麻奈・犬飼義明・巽二郎・北野英己・山内章. 水ストレスがイネ器官間における ^{13}C 自然存在比の分布に及ぼす影響. 第 27 回根研究集会 (2007 年 11 月 24 日, 福島テルサ)
11. 妹尾俊吾・巽二郎. 窒素栄養がイネにおける ^{15}N ・ ^{13}C 自然存在比の体内分布におよぼす影響. 第 27 回根研究集会 (2007 年 11 月 24 日, 福島テルサ)
12. 山本知佳・林 茂樹・柴田敏郎・山本豊・巽二郎. カンゾウ根系における安定同位体存在比の分布特性. 第 27 回根研究集会 (2007 年 11 月 24 日, 福島テルサ)
13. 山本知佳・林 茂樹・柴田敏郎・山本豊・巽二郎. 培地 pH と水ストレスがウラルカンゾウの根圏 pH におよぼす影響. 第 224 回日本作物学会講演会 (2007 年 9 月 26-27 日, 金沢大学)
14. Y. T. Hanba, Y. Hayashi, T. Hayakawa, K. Kasamo, M. Katsuhara. The effect of aquaporin HvPIP2;1 and McMIPA on leaf photosynthesis for rice and tobacco plants. The 5th International Conference of Aquaporin, Nara Centennial Hall, Nara, Japan (July13-16, 2007)
15. 林 茂樹, 柴田敏郎, 山本 豊, 巽二郎. 土壌の pH・EC、年生および地中の深さがカンゾウのグリチルリチン酸含有率へ及ぼす影響. 日本生薬学会北海道支部会第 31 回年会 (2007 年 5 月 26 日, 札幌市)
16. 山本知佳・林 茂樹・柴田敏郎・山本豊・巽二郎. カンゾウ根系における $\delta^{13}\text{C}$ ・ ^{15}N の分布とグリチルリチン蓄積. 第 26 回根研究集会 (2007 年 5 月 12 日, 久留米市九州農業研究所)
17. 狩野麻奈・犬飼義明・北野英己・山内章. イネ染色体部分置換系統群を用いた根系が発揮する可塑性の地上部乾物生産に対する貢献度の定量的評価 日本作物学会第 223 回講演会 (2007 年 3 月 29 日, 島根大学)
18. 半場祐子・小林剛・榎本敬. イネ科野生植物の C3/C4 分類と日本国内における分布 日本生態学会第 54 回大会講演要旨 P1-224、愛媛大学、2007 年 3 月 20 日
19. カドカ・ジャーナルダン・巽二郎. 窒素源の種類が植物体における $\delta^{15}\text{N}$ の分布におよぼす影響, 近畿作物育種研究会第 162 回例会 (2006 年 11 月 25 日, 京都大学)
20. 鶴飼邦明・巽二郎. 水ストレスがムラサキ根におけるシコニン含量におよぼす影響, 近畿作物育種研究会第 162 回例会 (2006 年 11 月 25 日, 京都大学)
21. 谷崎智子・巽二郎. 油料ヤブツバキとオ

- オバヤシヤブシの混植栽培地における δ 15Nの変動. 日本作物学会第 222 回講演会 (2006 年 10 月 28-29 日香川大学)
22. 山本知佳・巽二郎. ハーブ根系が生分解性フィルムにおよぼす影響. 日本作物学会第 222 回講演会 (2006 年 10 月 28-29 日、香川大学) 日作紀 75 (別号 2): 318-319.
23. 狩野麻奈・犬飼義明・北野英己・山内章. 土壌乾燥ストレスに対するイネ根系の可塑的発育反応の役割に関する定量的評価の試み 第 25 回根研究集会 (2006 年 10 月 7 日, 富山大学)
24. 狩野麻奈・犬飼義明・北野英己・高木里佳・有田薫・山内章. イネ染色体置換系統群根系の種々の水ストレス強度に対する発育反応の圃場実験による評価 第 24 回根研究集会 (2006 年 5 月 20 日, 拓殖大学)

[図書] (計 5 件)

1. 巽二郎 2008. 根の生態学 (森田茂紀・田島亮介監訳), シュプリンガー・ジャパン, 東京, pp1-28.
2. 巽二郎 2008. 作物の形態研究法 (前田英三ら編), 日本作物学会, 東京: pp66-71.
3. 巽二郎 2007. 地球環境と作物 (巽二郎編著), 博友社, 東京, pp7-21.
4. 巽二郎 2007. 植物由来プラスチックの高機能化とリサイクル技術 (猪股 勲他著) サイエンス&テクノロジー, 東京, pp32-41.
5. 巽二郎 2006. 書評「栽培学-環境と持続的農業-」(森田茂紀・大門弘幸・阿部淳編著) 日作紀 75 (3); 412.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

巽 二郎 (TATSUMI JIRO)
京都工芸繊維大学・生物資源フィールド
科学教育研究センター・教授
研究者番号: 00163486

(2) 研究分担者

山内 章 (YAMAUCHI AKIRA)
名古屋大学・生命農学研究科・教授
研究者番号: 30230303

富田 祐子 (半場 祐子)
(TOMITA YUKO (HANBA YUKO))
京都工芸繊維大学・生物資源フィールド
科学教育研究センター・准教授
研究者番号: 90314666

廣瀬 大介 (HIROSE DAISUKE)
南九州大学・環境造園学部・教授
研究者番号: 80269125

(3) 連携研究者