

麦わら施用による水稻の初期生育阻害機構の解明

田中福代 (独立行政法人農業技術研究機構 中央農業総合研究センター)

fukuyot@affrc.go.jp

麦わらを水田に施用した時に生じる水稻の初期生育阻害の原因が、土壤微生物の代謝産物(芳香族カルボン酸等)であることを見出した。従来、水稻の初期生育阻害は“窒素飢餓”(土壤微生物が可給態窒素を取り込むため水稻が窒素欠乏に陥る現象)によるものと信じられていたが、それが主要因でないことを確認し、麦わらの分解に伴って土壤中で生成する芳香族カルボン酸が生育阻害の主な要因と結論した。

はじめに



麦わら添加
(10Mg ha⁻¹ 相当) 対照

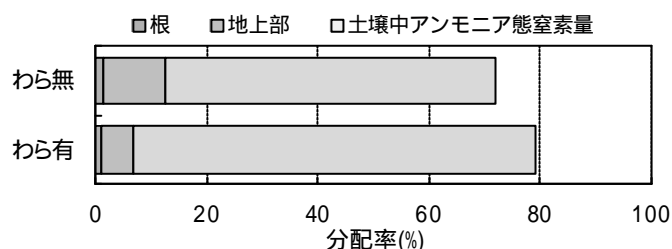
麦わら施用による水稻の生育抑制(ポット試験)

稲麦二毛作田においては、麦の収穫後、その残渣が未熟の状態の水田に鋤き込まれ、直後に湛水し、代かきされ、水稻の移植が行われている。この作業体系では水稻の初期生育が阻害されることが多く、栽培上大きな問題となっていた。また、その主な原因は“窒素飢餓”によるものとされてきた。“窒素飢餓”は「窒素に対する炭素の比率(C/N比)が高い有機物が土壌に加わると、微生物が炭素をエネルギー源として急激に増殖するときに無機態窒素を取り込み、土壌中の可給態窒素量が低下するため、作物が窒素欠乏に陥る」現象と説明されている。麦わらのような発酵(腐熟)過程を経ていない有機質資材はC/N比が高く、“窒素飢餓”を起こしやすい資材と考えられてきた。

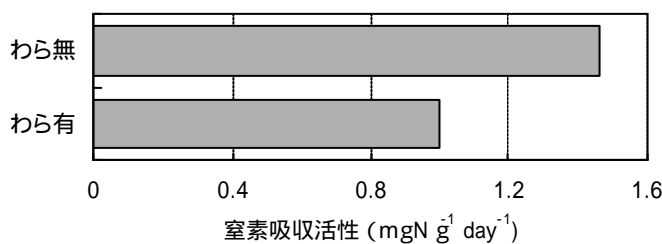
ところが、実際に、麦わらを大量に施用し、水稻生育が明らかに抑制されている水田土壌中のアンモニウム態窒素量を短い間隔で測定したところ、麦わら無施用区より高い濃度で存在した。これは“窒素飢餓”が主要因ではないことを示すものであった。そこで、有機物施用による水稻の生育抑制機構を明らかにするため、¹⁵Nトレーサーを用いて、有機物施用水田での窒素をめぐる土壤微生物と水稻の同化(吸収)活性について解析した¹⁾。また、生育阻害の要因となる物質の同定と定量を行った^{2,3,4)}。

1. 窒素飢餓説の検証

有機物(麦わらなど)を施用した土壌を湛水した後に水稻を移植し、¹⁵N 標識(NH₄)₂SO₄を経時的に添加し、短期間(24~48時間)で回収して、水稻と土壤微生物間の窒素の動態を解析するいくつかの実験を行った^{1,4)}。すると、わら施用区では対照区に比べて土壌中に¹⁵N-アンモニウム態窒素は多量に残存しているにもかかわらず、水稻による吸収量は少なく、しかも水稻の窒素吸収活性(乾物あたりのトレーサー-¹⁵N吸収量)が低下する結果となった。第1-a,b図にその典型的事例¹⁾を示した。また、



第1-a図 トレーサー¹⁵Nの水稻での分配(24時間後)³⁾



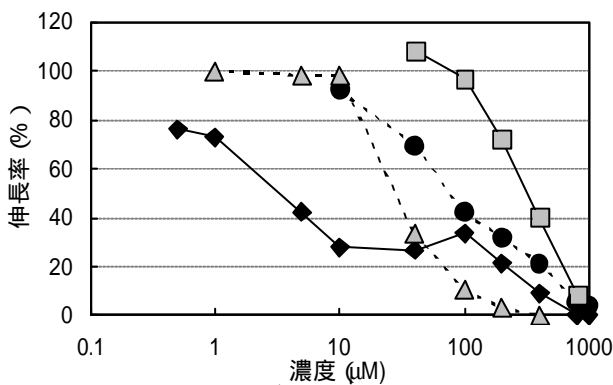
第1-b図 窒素吸収活性

根に吸収された窒素の茎葉への転流が抑制されたことが示された¹⁾。

麦わら施用によって土壌微生物がアンモニア態窒素を多量に取り込むのは、どの実験でも湛水後のごく短期間(約 1 週間)であった。水稻の生育阻害が顕著にみられ、窒素吸収活性が最も阻害されるのは移植後 10 日から 2 週間の時期であり、微生物による窒素の取り込みと水稻の生育阻害の発生とは時期的に一致しなかった³⁾。また、施肥窒素および作付け前から土壌に存在した窒素由来の土壌中アンモニア態窒素量は、麦わら施用によっても低下しないか、低下してもその比率は水稻の窒素吸収量の低下に比べるとはるかに小さかった^{4,5)}。以上のことから、水稻の生育阻害および窒素吸収速度の低下は、土壌中の無機態窒素の減少(窒素飢餓)によるものではなく、他の要因による窒素吸収の阻害によるものと推定した。

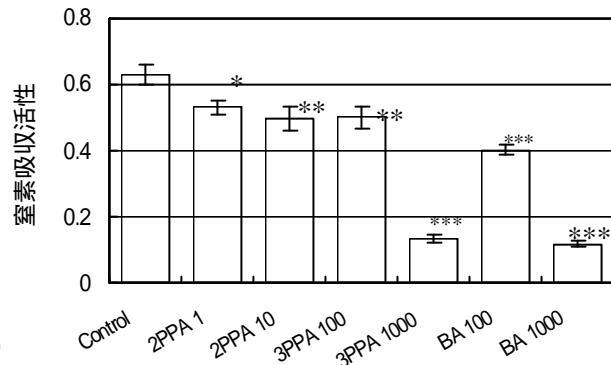
2.土壌中に生成する水稻の生育阻害物質

有機物が添加された土壌の水分は、酸性画分に水稻根伸長阻害活性が認められた。そこで、GC/MS(ガスクロマトグラフ-質量分析計)により水稻の生育阻害物質を検索したところ、芳香族カルボン酸類(安息香酸、フェニル酢酸、2-フェニルプロピオン酸、3-フェニルプロピオン酸、4-フェニル酪酸等)が同定された²⁾。これらは、水稻における根の伸長²⁾、窒素吸収⁶⁾、窒素の根から茎葉への転流⁶⁾を阻害することが、水稻の種子根検定と水耕実験により示された(第 2,3 図)。



第2図 芳香族カルボン酸による水稻種子根伸長阻害

—◆— 2-フェニルプロピオン酸 - - ● - - 3-フェニルプロピオン酸
 ...▲... フェニル酢酸 —■— 安息香酸



第3図 芳香族カルボン酸の窒素吸収阻害

2PPA:2-フェニルプロピオン酸,3PPA:3-フェニルプロピオン酸,BA:安息香酸. 数値は濃度(μM),バーは SE(n=5). *, **, ***はそれぞれ対照との差が Dunnett の検定により p=0.05, p=0.01, の水準で有意

なお、湛水土壌中に生成する芳香族カルボン酸は、麦わら中の易分解性炭素化合物を基質として増殖した土壌微生物による嫌氣的代謝産物と推定され、稲わら、レンゲなど易分解性有機物に富む資材を施用した時に生成することがわかった⁷⁾。

3.芳香族カルボン酸の麦わら施用水田における消長

水稻作付け圃場の土壌溶液中の芳香族カルボン酸濃度を経時的に測定した結果、麦わら施用条件下で2-フェニルプロピオン酸が水稻の生育を抑制する濃度に達すること

第1表 麦わら施用水田における芳香族カルボン酸の推移 (μM)

芳香族カルボン酸	移植後日数			
	14	19	24	33
安息香酸	3.2	2.8	22.4	12.1
2-フェニルプロピオン酸	0.7	0.7	1.5	4.3
3-フェニルプロピオン酸	3.2	1.8	2.8	1.3

が示された(第1表)⁴⁾。また、1989年に圃場で観察された最高濃度は、安息香酸 59 μM, フェニル酢酸 1 μM, 2-フェニルプロピオン酸 11 μM, 3-フェニルプロピオン酸 12 μMであった。さらに、圃場から採取したわら束の水分から、きわめて高濃度の芳香族カルボン酸が検出された(安息香酸 122 μM, 3-フェニルプロピ

オン酸 194 μM)ことから、わら近傍においては、特に阻害作用が強くなることが推察された。

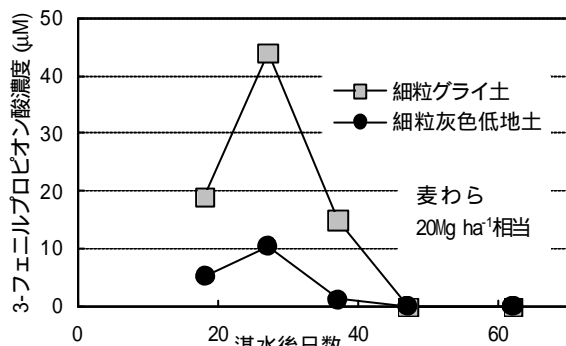
麦わら施用による水稻の初期生育の抑制は、初めて施用した時に強く現れ、連用するうちに軽減

される。芳香族カルボン酸の集積も、初回に大きく、徐々に低下することが示された(第2表)⁴⁾。また、重粘な土壌で集積が高まること(第4図)⁴⁾、低温条件で集積期間が長くなること(第5図)⁴⁾などが確認された。これらは、観察される新鮮有機物による水稻の生育抑制の強さと矛盾しない⁴⁾。

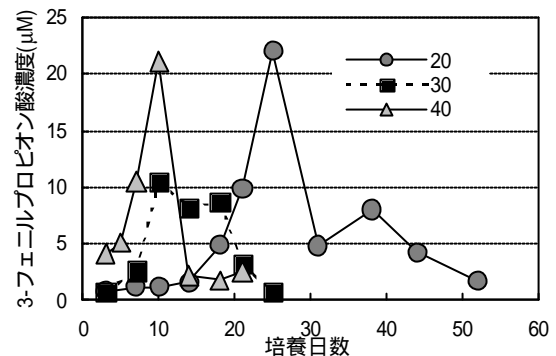
第2表 土壌溶液中芳香族カルボン酸濃度(μM) (ポット試験)

麦わら施用回数*	安息香酸	フェニル酢酸	2-フェニルプロピオン酸	3-フェニルプロピオン酸	4-フェニル酪酸
0	20.10	7.68	6.11	54.32	2.00
1	29.74	1.78	5.43	35.77	1.79
3	15.12	1.98	3.56	2.93	0.19

* 供試土壌を圃場から採取した時の回数



第4図 異なる土壌における3-フェニルプロピオン酸濃度 (ライシメーター試験)



第5図 異なる温度で湛水培養した麦わら添加土壌の3-フェニルプロピオン酸濃度

以上のようなことから、芳香族カルボン酸は、麦わら施用土壌における水稻の生育阻害において重要な要因であると結論した。特に、麦わら施用歴のない土壌で生じる強い生育抑制において、その効果が大きいと考えられる。

おわりに

有機物施用下の作物の生育抑制は、資材のC/N比と密接に関連付けられてきた。それは、“窒素飢餓”が主要因と考えられてきたためであろう。しかし、水稻の初期生育抑制の問題に限るなら、リグニン等の分解性の低い炭素が与える影響は小さいと考えられる。施用有機質資材の作物に対する阻害作用の強さの診断指標としては、生育阻害物質の生成につながる易分解性炭素化合物の含量を基準とすべきではないだろうか³⁾。

麦わら施用に伴う水稻の初期生育の抑制の強さには、芳香族カルボン酸の集積の他に、本稿では割愛したが、土壌の物理性(透水性、孔隙率)が深く関わっている。このことは、生育抑制を耕種的に軽減することが可能であることを意味する⁴⁾。また、芳香族カルボン酸の集積と窒素吸収阻害は、生育初期の一時的なものであるため、施肥法によって窒素吸収量の低下を回避することも可能であろう。麦わら連用による土壌肥沃度増強³⁾と阻害物質濃度低下の効果も期待できる。これらの知見が、水稻における生育抑制の軽減策につながることを期待している。

謝辞

本研究は、九州農業試験場(現九州沖縄農業研究センター)水田利用部水田土壌管理研究室において実施

しました。その間、早坂猛氏、故 吉野喬博士、山室成一博士、小野信一博士に土壌学や水稻栽培、同位体実験法を基礎からご指導いただきました。また、西田瑞彦氏、井田明氏、脇本賢三氏のご協力により実験を遂行することができました。辻是好氏、山内捷恵氏、堤妙子氏と業務科の皆様には絶大なるご支援をいただきました。吉田零博士はじめ生産環境部の皆様には常に温かい激励、熱心な討論と校閲をいただきました。環境第一部北村実彬博士には、質量分析に誘っていただきました。つくばへ異動後、研究の取りまとめに当たっては、中央農研 土壌肥料部栄養診断研究室 米山忠克博士(現東京大学教授)、藤原伸介博士、大脇良成博士、寺門純子博士、筑波大学教授 臼井健二博士に貴重なご討論とご支援を賜りました。また、原田靖生博士はじめ土壌肥料部の皆様の篤いご支援を賜りました。ここに記して、心よりお礼申し上げます。

引用文献

- 1) F. Tanaka and M. Nishida. 1996. Inhibition of nitrogen uptake by rice after wheat straw application determined by tracer $\text{NH}_4^{+}\text{-}^{15}\text{N}$, *Soil Sci. Plant Nutr.*, **42**, 587-591
- 2) F. Tanaka, S. Ono and T. Hayasaka. 1990. Identification and evaluation of toxicity of rice root elongation inhibitors in flooded soils with added wheat straw, *Soil Sci. Plant Nutr.*, **36**, 97-103
- 3) F. Tanaka. 1990. Method of determination of some aromatic acids in soil solution from paddy fields by gas chromatography-mass spectrometry, *Soil Sci. Plant Nutr.*, **36**, 425-430
- 4) 田中福代 2002.水田への麦わら施用に伴う芳香族カルボン酸の生成と水稻の生育抑制機構に関する研究, 九州沖縄農業研究センター報告 **40**, 33-78
- 5) 田中福代 2002. 麦わら施用はなぜ水稻の生育を抑制するか - "窒素飢餓" は水田でも当てはまるのか? -, *化学と生物* **40**, 147-149
- 6) F. Tanaka and M. Nishida. 1998. Inhibitory effects of aromatic acids on nitrogen uptake and transport in rice (*Oryza sativa* L.) plants cultured on hydroponics. *Soil Sci. Plant Nutr.*, **44**, 691-694
- 7) 田中福代・小野信一. 2000. 有機質資材を施用した水田土壌における芳香族カルボン酸の集積と起源および水稻の生育阻害, *日本土壌肥料学雑誌* **71**, 350-355
- 8) 田中福代. 2001. フィールドから展開される土壌肥料学 - 新たな視点でデータを採る・見る- 2. 水田における施用有機物の分解と水稻生育, *日本土壌肥料学雑誌* **72**, 582-587
- 9) Yoo, C.-H., So, J.-D., A Ida, , F. Tanaka, and M Nishida. 1992. Effect of long-term organic matter application on the fine textured paddy soils of double cropping system in temperate area. *J. Korean Soc. Soil So. Fert.* **25**, 325-333 (in Koreans)

Growth inhibition of rice (*Oryza sativa* L.) plants in flooded soils added with wheat straw

Fukuyo Tanaka (National Agricultural Research Center, Dept. of Soils and Fertilizers)

fukuyot@affrc.go.jp