

2. 蛋白質制御のための施肥技術の研究方向

2-1 窒素追肥による子実蛋白質含量の向上と蛋白質組成の変化

近畿中国四国農業研究センター・地域基盤研究部・土壌水質研究室 木村 秀也

1. はじめに

小麦の子実蛋白質含量は品質と用途に影響を与える大きな要因であり、製麺用で10～11%、パン用で12%前後が求められている。また、子実蛋白質を溶媒抽出法や高速液体クロマトグラフィー、SDS-PAGEによって分画して得られる高分子グルテニンの含量が製パン性に深い関わりを持つことが知られている。

近畿中国地域で生産される小麦は子実タンパク質含量が低い傾向にあり、現在、蛋白質含量の制御を目的とした研究が行われている。出穂期前後の窒素追肥は生育が進み、根域が広がっている段階での施肥であるため窒素利用率が高く、また吸収した窒素の利用率も高いことが知られている。さらに草丈の伸長が停止した時期の施肥であるために徒長による倒伏を招くことなく植物体への窒素吸収量の増加が可能である。

本研究では、水稻、大豆、無作付けと前作の異なる圃場において、出穂後追肥窒素の子実への集積を重窒素標識肥料を用いて検討し、次に子実中の蛋白質組成について溶媒抽出法および超音波抽出法による分画を行い追肥窒素の各画分への分配について検討を行った。また、追肥の省力化のために、緩効性肥料を用いた子実蛋白質含量の増加について検討を行った。

2. 耕種・試験概要

水田転換畑での小麦作を想定し、水稻作後に稲わらを全量土壌に還元した水稻後圃場（R圃場）と、大豆を栽培し10月初旬に刈り取り全量搬出した大豆後圃場（M圃場）および夏期に無作付けの圃場（B圃場）を設定し、1998年には農林61号を、1999年には中国147号を、2000年には中国146号、147号を供試した。施肥窒素は標準施肥として基肥窒素 5g N/m^2 、3月初旬追肥 2g N/m^2 とし、出穂後追肥試験では出穂後10日に、緩効性肥料追肥試験では各施用試験期に窒素を追加施用する3反復乱塊法による試験区を設定した。

出穂後追肥試験および緩効性肥料施用試験の一部に $25\text{cm}(1\text{条})\times 40\text{cm}$ の重窒素標識肥料区を設定し、内側の 20cm の部分を回収して分析に供した。肥料区は無粋とし、出穂後追肥試験では $5.01\text{atom}\%$ の硫酸を液肥とし、また緩効性肥料追肥試験では $3.22\text{atom}\%$ の緩効性肥料を土壌表面に施用した。

3. 出穂後10日追肥による子実蛋白質の変化

出穂期前後の追肥による子実蛋白質含量と容積重や粉色を中心とした品質の変化は様々な品種や追肥時期について検討が行われている。追肥時期を減数分裂期から出穂後20日まで変化させた場合、出穂期

および出穂後 10 日の子実蛋白質含量上昇の効果が高く、小穂分化期から減数分裂期にかけての早い時期での追肥は倒伏を引き起こす可能性が示唆されている。また、植物体窒素含有率を葉色から判定し、低蛋白質含量が予測される場合に出穂初期に追肥を行う報告¹⁾もなされているが、徒長および熟期の遅れを回避するために植物成長調整剤処理が併用されている。出穂後 10 日追肥では、植物体の栄養診断を組み合わせた蛋白質含量調整技術は未だ確立されていないが、徒長による倒伏を起こすことなく施用窒素 1g N/m² あたり子実蛋白質含量が 0.4 ~ 0.6% 増加する事が報告されている。

過去 3 年間の試験で施用窒素量の水準が最も高い 1999 年度播種の中国 147 号での出穂後 10 日追肥試験の蛋白質含量変化を図 1 に示した。前作が異なる圃場条件に関わらず追肥量が最大の 12g N/m² まで蛋白質含量は直線的に上昇し、窒素 1g N/m² あたりの子実蛋白質含量上昇は約 0.4% であった。また、出穂後 10 日追肥で千粒重、リットル重の増加が確認された。追肥量による稈長、収量への影響は見られなかったが、圃場間差は確認された。蛋白質含量の上昇や収量、容積重への影響はすべての年度で確認された。

また、子実の重窒素含量から換算した追肥窒素由来窒素の蛋白質含量増加への寄与(図 2) から、子実蛋白質含量の増加は追肥窒素の吸収によることが明らかとなった。以上より、安定した蛋白質含量増

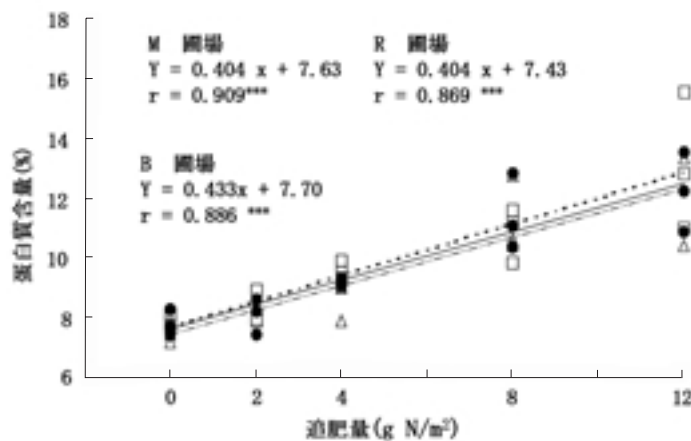


図 1 追肥量による子実蛋白質含量の変化

M 圃場 (——, n=15) B 圃場 (-----, n=15) R 圃場 (....., n=11)

*** 0.1% レベルで有意

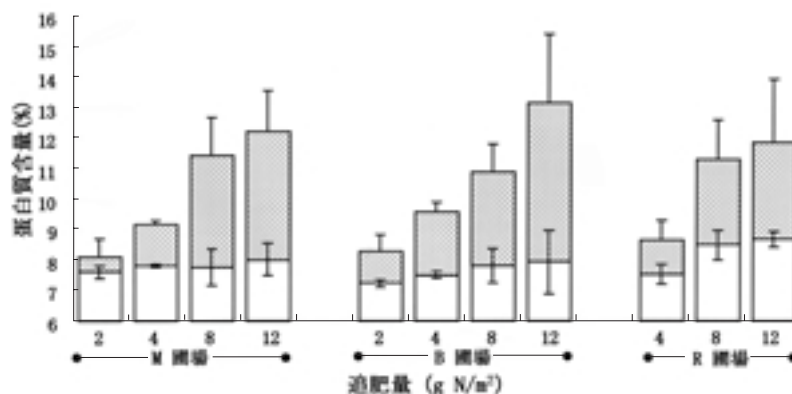


図 2 出穂後追肥による子実蛋白質含量の上昇

□ 土壌+基肥由来窒素 ■ 追肥由来窒素

加が可能な出穂後 10 日追肥は植物体の栄養診断や圃場診断を組み合わせた蛋白質含量調整技術への応用が可能であると考えられる。

次に、出穂後追肥による蛋白質含量上昇に伴う蛋白質組成の変化と、追肥由来窒素の各画分での存在割合を明らかとするため、子実蛋白質を水溶性画分（アルブミン + グロブリン，A 画分），アルコール可溶画分（グリアジン，B 画分），アルカリ可溶画分（グルテニン，C 画分）および残さ画分に分画し、集積窒素および追肥由来窒素の分析を行った。1998 年播種の農林 61 号は各溶媒により低分子画分から抽出を行う溶媒抽出法により分画を行ったが（図 3），A 画分に高分子蛋白質が混入していることと、残さ画分に含まれる窒素が多いため、1999 年度播種の 中国 147 号は初めに超音波によって全蛋白質を抽出し²⁾、各溶媒によって沈殿で回収する超音波抽出法（図 4）によって分画を行った（図 5）。

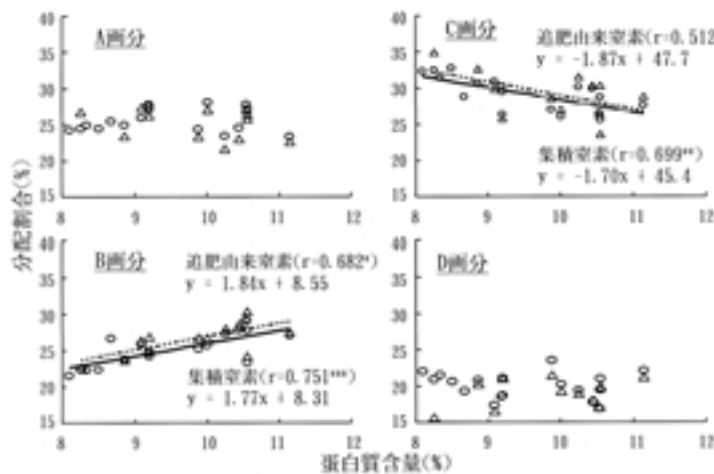


図 3 子実蛋白質画分への窒素分配割合

(1999 年産 農林 61 号)

集積窒素 (—●—, n=18) 追肥由来窒素 (- - -○- - -, n=12)

(*** 0.1% 水準で有意, ** 1% 水準で有意, * 5% 水準で有意)

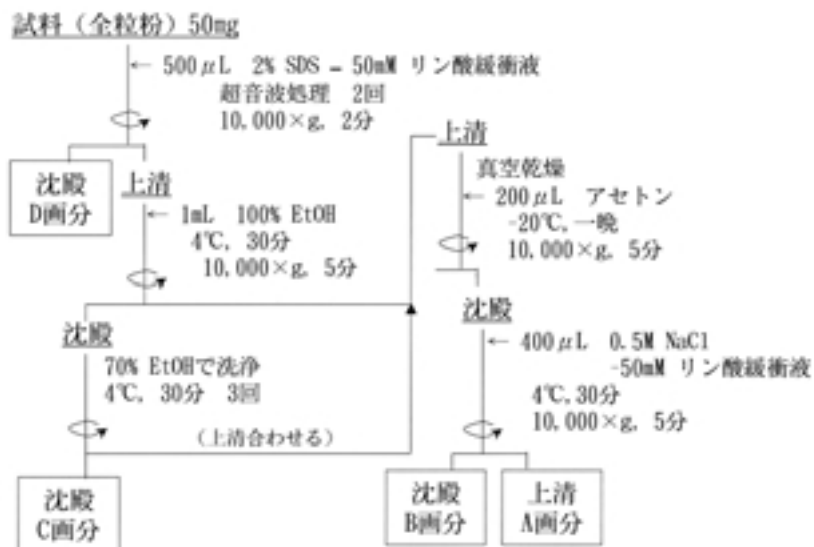


図 4 超音波抽出法による蛋白質分画法

(2000 年産 中国 147 号)

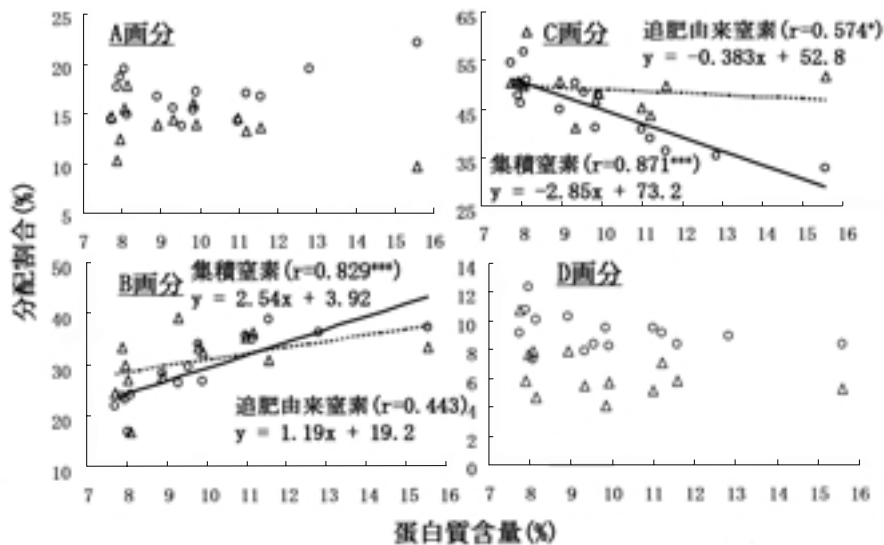


図5 子実蛋白質画分への窒素分配割合

(2000年産 中国147号)

集積窒素 (—, n=18) 追肥由来窒素 (- - - , n=12)

(*** 0.1%水準で有意, * 10%水準で有意)

蛋白質含量の増加に伴う集積窒素、追肥由来窒素の各画分への分配割合から、両年度ともB画分に正の、C画分に負の分配比の変化が見られた。しかし、低分子画分であるA画分には蛋白質含量増加に伴う有意な変化は見られなかったことから、追肥由来窒素は子実に移行後、低分子画分に特異的に集積することなく貯蔵蛋白質に合成されていることが明らかとなった。

また、両年度の窒素分配割合を比較すると、超音波抽出法によって分画を行った1999年播種では集積窒素と追肥由来窒素の分配割合がA画分で低くなっており、またA、D画分の窒素分配割合が低くなっている。両年度では品種が異なるため、一概に分画法による違いとは断言できないが、出穂後10日の子実蛋白質組成はアルブミンが75%をしめるが、成熟に従ってグリアジンが40～50%まで、グルテニンは10～20%まで上昇する報告³⁾があり、予想されるA画分での追肥由来窒素の分配割合の低下が見られた超音波抽出法はより正確な分画が可能であると考えられる。今後、高分子グルテニンと低分子グルテニンの分画を含め、重窒素分析が可能な分画法の改善を行う必要がある。

4. 緩効性肥料を利用した子実蛋白質含量の増加

出穂期前後の速効性肥料の追肥は施肥から収穫までの期間が短いため、植物体の栄養診断等と組み合わせさせて安定した蛋白質含量の制御が可能な施肥法であるが、植物体が大きく、また開花期に施肥する必要があるため、基肥や従来行われている追肥時期での緩効性肥料追肥などによる省力的な追肥法を検討する必要がある。

現在市販されている緩効性肥料は水稻基肥用や特定の野菜栽培用が中心であり、水田などの安定した条件下での窒素溶出を想定した設計となっているため、冬季の乾燥した畑状態での溶出はより長い期間を要すると予想される。溶出期間が異なる2種類のリニア型緩効性肥料LP30、LP40(チッソ株式会社製)を用いた1999年の試験より、子実蛋白質含量の上昇は出穂後10日追肥と比較して低く、また肥料

種間と施肥時期の比較から溶出が十分に行われていないことが予想された(図6)。次に、溶出期間が30日で溶出パターンがシグモイド型の緩効性肥料セラコートR30(セントラル硝子社製)とリニア型LP30の2種類の肥料を基肥(4g N/m²)および2月,3月(8g N/m²)に施用した2000年の試験(図7)では、基肥にセラコートを用いた場合、出穂後10日追肥と同等の蛋白質含量の上昇が見られた。追肥では、LP30の施用によりタンパク質含量の上昇が確認されたが、出穂後10日追肥と比較して低くなった。

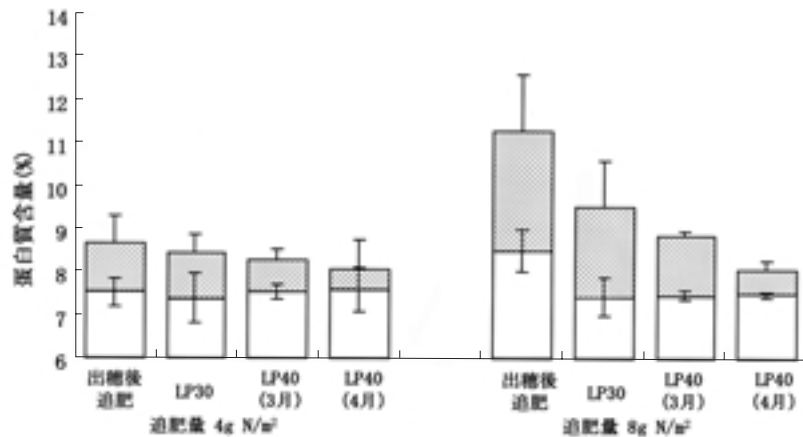


図6 緩効性肥料追肥による子実蛋白質含量変化

(1999年播種 中国147号)

□ 土壌+基肥由来窒素 ■ 追肥由来窒素

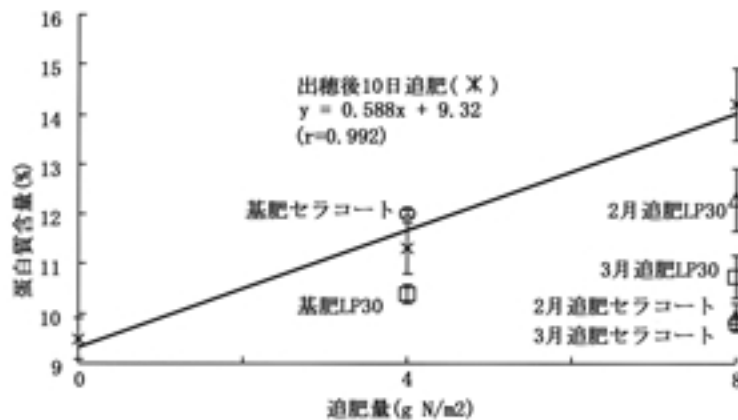


図7 緩効性肥料による子実蛋白質含量の上昇

(2000年度播種 中国146号)

表1 出穂後10日追肥から収穫までの窒素溶出

	LP30		セラコート R30	
	溶出率 (%)	溶出窒素 (g N/m ²)	溶出率 (%)	溶出窒素 (g N/m ²)
基肥	14.3	0.574	40.0	1.60
2月追肥	43.5	3.49	44.9	3.59
3月追肥	47.5	3.80	38.5	3.08

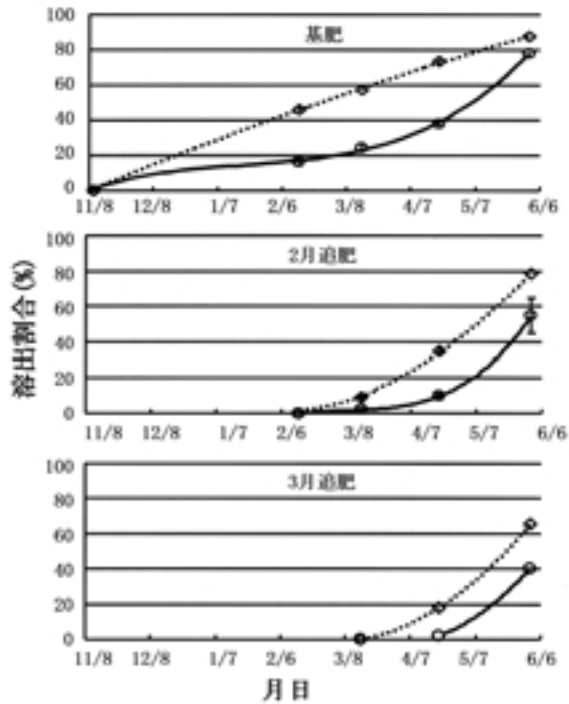


図8 緩効性肥料の溶出
(----) LP30 (—) セラコート

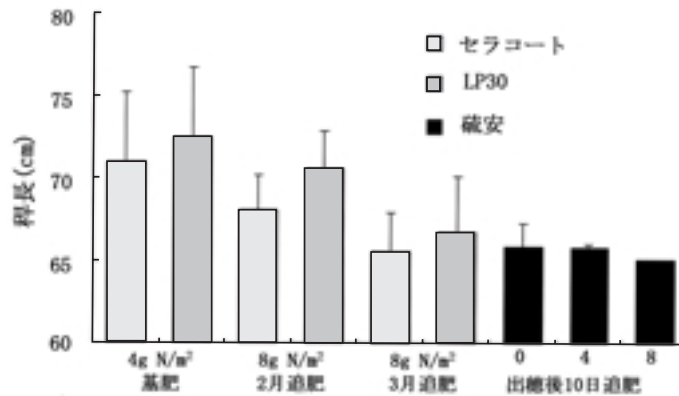


図9 緩効性肥料施肥が稈長に与える影響
(2000年度播種 中国146号)

施用から収穫期までの緩効性肥料からの窒素溶出(図8)は、基肥ではセラコート、LP30ともに80%の窒素溶出が確認された。しかし、セラコートの冬季の溶出は20%程度で、気温が上昇し、小麦の生育が盛んになる3月下旬から溶出が高まるのに対し、LP30では施用後から一定の割合での溶出が確認され、生育後期の窒素供給量の差が蛋白質含量の上昇に影響を与えたと考えられる。追肥では、収穫期までの窒素溶出量は2月追肥、3月追肥とも基肥より低く、施肥時期が遅いほど少なくなった。また、セラコートでは施肥から窒素溶出が開始されるまでの期間が1~2ヶ月間必要であった。

出穂後10日から収穫期にかけての窒素溶出量(表1)は、施肥量が多い追肥で基肥より高くなったが、溶出量に対応した出穂後10日追肥で見られる蛋白質含量の上昇は確認されなかった。また、緩効性肥料施肥時期が早く、溶出開始が早いLP30でより稈長が長くなる傾向(図9)が確認された。緩効

性肥料による蛋白質含量の上昇は出穂期より早い時期の生長に伴う窒素吸収によって個体内に取り込まれた窒素の転流により生じていると考えられた。

肥効調節型肥料は基肥として設計されているため、基肥として土壌中にある場合は根の伸張に伴う肥料との接触により効率的な窒素供給が可能となり、土壌表面に施用する追肥では、窒素利用率が低くなるために蛋白質含量の上昇が異なると考えられる。また、土壌中には溶出に必要な水分が安定して存在し、さらに気温より地温の方がより安定しているため、土壌表面への追肥で見られた試験区おきの窒素溶出のばらつきが基肥では見られなかった。

次に、出穂後 10 日から収穫期までの溶出窒素量と蛋白質含量の間に関係が見られなかった。有機物を施用した圃場や有機態窒素が多い土壌では蛋白質含量が高くなるとが知られているが、これは気温の上昇に伴う微生物活性の上昇により無機態窒素の供給量が増加しているためと考えられる。緩効性肥料の溶出パターンから、出穂期以降の溶出窒素よりも、根との接触が多い基肥で、生育が盛んになる 3 月から溶出が高まるシグモイド型セラコート R30 を用いた試験区で効率的な窒素供給が行われ子実蛋白質含量の増加につながったと考えられる。

今後、蛋白質含量の向上に緩効性肥料を用いるためには、徒長による倒伏を回避できる施肥法や、土壌中や土壌表面での溶出と関連する水分や温度条件、微生物活性等について着目した研究が必要である。

文 献

- 1) 佐藤一弘：栄養診断，出穂始期葉面散布による小麦の多収・粗蛋白質含量適正化技術，関東東海農業の新技术，14，12-16（1998）
- 2) Singh, N. K., Donovan, G. R., Batey, I. L. and MacRitchie, F. : Use of sonication and size-exclusion high-performance liquid chromatography in the study of wheat flour proteins. I. Dissolution of total proteins in the absence of reducing agents. *Cereal. Chem.*, 67,150-161 (1990)
- 3) Stenram, U., Heneen, W., K. and Olered, R.: The effect of nitrogen fertilizers on protein accumulation in wheat. *Swed. J. Agric. Res.*, 20, 105-114 (1990)