センターとも各種資源を共有し、システム間で他のデータベースにもアクセスできるような体制がとれることが理想である。

先に挙げた表1中のデータベースは別々の機関が個々につくりあげたものである。個々のデータベースにはそれを利用する目的で検索プログラムが開発されている。現在各々のデータベースにおいては充実したシステムが利用できるが、将来的にこれらファクトデータベース間の整合性がとれ、利用者の意志で自由にデータベースをとりかえられる“わたり検索”が可能になれば、さらに強力な情報システムとなろう。

(玄場万紀子, 江口至洋, 三井情報開発(株)総合研究所)

おいしい米と最適窒素保有量

—— 水稻の品種特性と施肥

深山 政治
千葉県農業試験場

水稻の施肥技術の発展

わが国の主食である米の生産は、1970年代に至って有史以来初めて、その需要を満たすようになった。これは、稲作技術の向上と稲作農家の営々とした努力の賜物であった。それまで、単収の向上を最大の目的としてきたわが国の稲作は、この自給率100%達成を背景に、“おいしい米”の生産へと大きく方向転換した。コシヒカリやササニシキに代表される“おいしい米”は、一般に倒伏しやすく、作りにくい品種とされている。このような良質品種が主力品種となることにより、水稻の施肥法も多収一辺倒から質を考えた新しい方法が必要とされる時期となった。

稲作技術の発展過程で施肥技術は大きな役割を果たしてきたが、村山⁽¹⁾によれば過去における施肥技術の発展は3つの段階に分けられるという。第一段階は明治～昭和初期であり、養分の欠乏あるいは不足が問題となった段階である。この時期に始まった施肥標準調査などにより、わが国の水田は畑地に比べ全般に肥沃であること、窒素に最も不足し、リン酸、カリの供給力は一般に高いことが明らかとなった。これに基づいて水田管理における地力培養の重要性が説かれ、大豆粕を主体とした窒素質肥料の意義が明らかとなった。

第二段階は、養分の欠乏あるいは不足は基本的に解消され、肥料、特に窒素質肥料の効率が問題になった段階であり、昭和初期～戦後に該当する。水田土壌化学の発展により、湛水した還元条件下では脱窒現象⁽²⁾が存在することが明らかとなった。この結果、水田の表層に元肥を施用する植代施肥に替わって全層施肥技術が開発された。また、水稻による窒素の生育時期別必要性が解明⁽³⁾され、幼穂形成期に施用する穂肥の有効性が明らかとな

Catalogue of Medically Important Fungal Strains Collected in Japan

1985・First Edition Edited by Hideyo Yamaguchi

日本医真菌保存株目録 (B5判, 110頁 2,600円)

収載コレクション

帝京大学医真菌研究センター (TIMM)	1,456株	山口 英世
九州大学医学部皮膚科学教室	299株	占部 治邦
金沢医科大学皮膚科学教室 (KMU)	1,066株	福代 良一
東京大学農学部家畜内科学教室 (VUT)	55株	長谷川篤彦

学会出版センター

東京都文京区本郷 6-2-10 電話(03)814-2001
(〒113) 郵便振替 東京 6-71057

った。これらの成果により、元肥の全面全層施用+穂肥の表層施用技術が確立した。

施肥技術の第三段階は昭和 30 年以降であり、窒素の過剰施肥傾向が著しくなり、過繁茂による収量停滞が最大の課題となってきた。作物学における光合成、物質生産理論の発展を背景として、施肥技術においても太陽エネルギーの利用効率の向上を図ることの重要性が認識された。このような状況の中で、作物栄養学、土壌肥料学、作物学など多面的な研究が進み、一般に後期重点施肥法と称される施肥技術が開発された⁽⁴⁾。

これらの成果の上に、自給率の 100% 達成が可能となり、始めに述べた“おいしい米”を対象とした施肥法の検討が始まった。その方向は現在も模索されつつあるが、輪郭はかなりはっきりとしてきた。大きく次の 3 つに分けることができる。①水稻の必要とする窒素量を、収量と生育相に応じて定量的に明らかにする。②地力窒素の生成量などを理論的に把握する。③葉色よりの確な栄養診断を行なう。以下、①と②を中心として、施肥の考え方を述べることにしたい。

水稻の生育相と最適窒素保有量

水稻の収量は 4 つの収量構成要素の積として表示される。すなわち、

$$\text{収量 (g/m}^2\text{)} = \text{穂数 (本/m}^2\text{)} \times \text{一穂粒数 (粒/本)} \times \text{登熟歩合 (\%)} \times \text{玄米千粒重 (g)/1,000}$$

図 1 生育時期別の稲体窒素保有量と収量形成諸要素との関係 (松崎⁽⁹⁾を参考)

⇒：稲体のN保有量と関係の深いもの。→、→：収量構成要素と外部形態の関係 (点線は関係弱、矢印は作用方向)

これら 4 つの収量構成要素の中で初めに決まるのが穂数であり、その時期はほぼ幼穂形成期頃である。ついで、出穂期には一穂粒数が明らかとなり、その結果 m² あたり粒数が決定する。この m² あたり粒数の何割が稈実し玄米となったかを示すものが登熟歩合である。登熟歩合は登熟期の後半にほぼ決まり、最後の成熟期に玄米千粒重が決定する。

これらの収量構成要素と生育時期別の水稻の窒素栄養状態を調べた結果、両者には密接な関係があり、収量構成要素はそれらがほぼ決定する時期の、単位面積あたりの水稻が保有している窒素量によって決まることが明らかとなった⁽⁵⁾。それらの関係を示すと図 1 のようになる。穂数は幼穂形成期の窒素保有量によってほぼ決まる⁽⁶⁾。また、この時期の窒素保有量は下部節間長や稈長と密接に関係し、倒伏の大小とも関係が深い。m² あたり粒数は出穂期窒素保有量によってほぼ決定される。この関係は、村山や松島により早くから見いだされていた⁽⁴⁾。また、出穂期の葉面積指数 (LAI) も、この時期の窒素保有量によって規定される。収量は登熟期の気象条件によって左右されるが、同じ気象条件であれば成熟期の窒素保有量によって決まってくる。さらに、出穂以降の好適な窒素吸収量は、収量レベルと登熟期間における LAI の低下量と密接な関係がある。この点からも、成熟期における最適窒素保有量を明らかにすることが可能である。

このようにして、収量レベルおよび収量構成要素に対応して、生育時期別の最適窒素保有量が決まってくる。

水稻の地力窒素吸収量と好適施肥量の求め方

以上のようにして明らかとなった生育時期別最適窒素保有量をいかにして供給するかが、施肥技術の課題である。水稻の窒素の給源は土壌や灌漑水より由来する、いわゆる地力窒素と、肥料に由来する窒素とに分けられる。地力窒素の吸収量は、肥料窒素無施用条件下で栽培した水稻の窒素吸収量をもって示すことがで

きる。前項で求めた生育時期別最適窒素保有量より、この地力窒素吸収量を差し引くことによって、肥料から供給すべき窒素量が生育期間別に明らかとなる。ついで、この肥料窒素必要量を施肥窒素の利用率で除することにより、実際に施用すべき肥料窒素の量が求められる。

おいしい米と窒素肥料の施用法

水稻は品種によって著しく草型が異なり、多収系統の稲は倒れにくく多肥によって収量が上がりやすい。これに対して、食味のよい“おいしい米”は倒れやすく、きめの細かい施肥が必要とされ、窒素の施用量は一般に少ない。このように、水稻は品種の特性によって窒素要求量が異なるが、この点を定量的に明らかにした例は少ない。そこで、“おいしい米”であるコシヒカリの窒素施用法の特徴を、上述の生育時期別最適窒素保有量の観点から検討した。比較品種としては千葉県奨励品種であるトドロキワセとハヤヒカリを供試した。

千葉県の稲作は4月下旬～5月上旬に移植し、8月下旬～9月中旬に収穫する早期栽培が中心であるが、その中でコシヒカリは収穫期が遅い晩生に属し、これに対しハヤヒカリは早生品種で耐倒伏性が大きい品種である。一方、トドロキワセは中生で、両者の中間的な性質を有する。

1) 品種特性と最適窒素保有量

千葉県において平年的な気象条件下で収量レベルが560～600 kg/10aの場合、各品種の最適生育相は次のとおりである。コシヒカリは穂数440本/m²、粒数33,000/m²、出穂期LAI5～6が好適であり、トドロキワセでは各々530本/m²、35,000/m²、5～6が、ハヤヒカリでは500本/m²、35,000～37,000/m²、5～6が好適値である。

このような各品種の好適生育相が、どのような窒素保有量のもとで達成されるかを検討した。

穂数は幼穂形成期の窒素保有量で決まるが、3品種につき両者の関係をみると図2のとおりである。いずれの品種も幼穂形成期の窒素保有量(kg/10a)が増すと穂数が増えるが、品種により傾向が異なった。同じ窒素保有量における穂数はトドロキワセが最も多く、ついでハヤヒカリであり、コシヒカリはかなり少ない。これは、窒素の穂数生産能率(窒素1kgあたりの穂数生産量)が品種により異なるためである。窒素の穂数生産能率は偏

図2 幼穂形成期窒素保有量と穂数

穂数型のトドロキワセが最も高く、ついでハヤヒカリ、コシヒカリの順であった。図2から最適穂数を得るに必要な幼穂形成期の窒素保有量を求めると、コシヒカリは440本/m²の確保に5～5.5 kg/10a、トドロキワセは530本/m²で5.5～6 kg/10a、ハヤヒカリは500本/m²の確保に6.5 kg/10a前後が必要であった。

出穂期にはm²あたり粒数が決まり、また葉面積もこの時期に最大となる。両者とも出穂期の窒素保有量によって決まる。粒数と出穂期窒素保有量の間には穂数のような品種間差はみられず、同じ粒数では最適窒素保有量も同等となった。これは、出穂期保有窒素の粒数生産能率の品種間差が小さいためである。コシヒカリは33,000/m²の粒数確保に9.5～10.5 kg/10aの窒素が必要であり、トドロキワセは35,000/m²で10.5～11.5 kg/10aが、ハヤヒカリは35,000～37,000/m²で同じく10.5～11.5 kg/10aが必要となった。また、出穂期の窒素保有量が12 kg/10a以上では過繁茂となった。

最後に決まる精玄米収量も、成熟期の窒素保有量に規定される。登熟期の気象が比較的平年に近い場合、コシヒカリは成熟期窒素保有量11～12 kg/10aで560 kg/10aの収量となった。トドロキワセは11.5～12.5 kg/10aで570～600 kg/10a、ハヤヒカリは12～13 kg/10aで同じく570～600 kg/10aの収量が得られた。

2) 出穂以降の好適窒素吸収量

成熟期に粒に集積する窒素(H)の給源は、出穂以降

表 1 各品種の生育時期別最適窒素保有量 (kg/10a)

品 種	収 量 レベル	最 適 窒 素 保 有 量		
		幼穂形成期	出穂期	成熟期
コシヒカリ	560	5.3±0.3 (100)	10.0±0.5 (100)	11.5±0.5 (100)
トドロキワセ	560~600	5.8±0.3 (109)	11.0±0.5 (110)	12.0±0.5 (104)
ハヤヒカリ	560~600	6.5±0.3 (123)	11.0±0.5 (110)	12.5±0.5 (109)

注 () 内はコシヒカリを 100 とした指数

の吸収窒素と 茎葉および 根からの 転流窒素に分けられる。出穂以降に水稻の吸収した窒素 (F) は見かけ上すべて籾に移行するので、出穂時、籾がすでに保有している窒素を E とし、見かけ上の転流窒素を T とすると、

$$H=T+E+F$$

となる。したがって、出穂以降の吸収窒素 (F) は、

$$F=H-(T+E) \quad (1)$$

として表わされる。 E は出穂期窒素保有量の約 10% に相当し、ほぼ 1 kg/10 a に相当する。また、茎葉からの転流窒素 (T) は出穂以降の LAI の低下量 (X) と密接な関係がある。品種毎に求めたこれらの数値を (1) 式に代入すると、

$$\text{コシヒカリ: } F=H-1.90 X+0.05 \quad (2)$$

$$\text{トドロキワセ: } F=H-1.59 X+1.09 \quad (3)$$

となる。これらの式は出穂以降の窒素吸収量は、籾の必要とする窒素量 (H) と出穂以降の LAI 低下量 (X) によって決まることを示している。収量レベルがコシヒカリで 560 kg/10 a, トドロキワセで 600 kg/10 a の場合について、 H と X を求めて (2), (3) 式に代入すると、出穂以降の好適窒素吸収量が求まる。その値はコシヒカリで 1.3 kg/10 a, トドロキワセで 0.9 kg/10 a である。これらの値を前述の出穂期最適窒素保有量に加えることによって、成熟期の最適窒素保有量が明らかとなる。その結果は収量より求めた値と同等である。

以上の結果をまとめて、各品種の生育時期別最適窒素保有量を示すと表 1 のようになる。良質米のコシヒカリ

表 2 品種別地力窒素吸収量 (kg/10a)

品 種	幼穂形成期	出穂期	成熟期
コシヒカリ	4.1	6.1	8.2
トドロキワセ	3.5	5.7	7.5
ハヤヒカリ	3.3	5.3	7.3

は、幼穂形成期の最適窒素保有量が他品種よりかなり低いことが特徴である。

3) 地力窒素吸収量の品種間差

窒素肥料無施用条件下で栽培した、水稻の窒素吸収量より求めた供試土壌の地力窒素供給量は表 2 のとおりである。地力窒素吸収量には明らかに品種間差がみられ、コシヒカリが多く、ついでトドロキワセで、ハヤヒカリが最も少なかった。このような地力窒素吸収量の品種間差は、各品種の生育期間の長短に主として起因している。

土壌から供給される地力窒素に関しては近年研究が進み⁷⁾、その生成量については有効積算温度や速度論的解析法によりの確かな予測が可能となってきた。また、生成した地力窒素の水稻による吸収に関しては、積算有効温度示数の観点から予測ができる。

4) 各品種の好適な窒素施用法

各品種の生育時期別最適窒素保有量より、地力窒素吸収量を差し引いて求めた肥料窒素必要量は表 3 のとおりである。幼穂形成期までに必要な肥料窒素はコシヒカリが 1.2 kg/10 a と少なく、ついでトドロキワセの 2.3 kg/10 a であり、ハヤヒカリは 3.2 kg/10 a と多い。幼穂形成期までの必要窒素は元肥として施用する肥料から供給される。元肥窒素の利用率は 40~50% なので、実際に施用すべき肥料窒素の量はコシヒカリ 2.4~3 kg/10 a, トドロキワセ 4.6~5.8 kg/10 a, ハヤヒカリ 6.4~8 kg/10 a となる。良質米のコシヒカリは、他品種に比べ

表 3 肥料窒素必要量より求めた好適施肥配分

品 種	元 肥 窒 素 (全面層施用)			穂 肥 窒 素 (表層施用)		
	移植~幼穂 形成期の肥料 N必要量 (kg/10a)	肥 料 N 利 用 率 (%)	好 施 肥 適 量 (kg/10a)	幼穂形成期 以降の肥料 N 必要量 (kg/10a)	肥 料 N 利 用 率 (%)	好 施 肥 適 量 (kg/10a)
コシヒカリ	1.2	40~50	2.4~3.0	2.1	60~70	3.0~3.5
トドロキワセ	2.3	40~50	4.6~5.8	2.2	60~70	3.1~3.7
ハヤヒカリ	3.2	40~50	6.4~8.0	2.0	60~70	2.9~3.3

て元肥窒素の施用適量が著しく少ない。

幼穂形成期から成熟期の肥料窒素必要量は、いずれの品種でもほぼ等しく 2 kg/10 a 程度である。これは、主として幼穂形成期に施用する穂肥窒素から供給される。穂肥窒素の利用率は 60~70% なので、穂肥として施用すべき肥料窒素の量は 2.9~3.7 kg/10 a となり、いずれの品種でもほぼ同等である。

以上のように、品種別の好適な施肥法が明らかとなったが、“おいしい米”であるコシヒカリは生育前期の最適窒素保有量が少なく、他方で地力窒素吸収量は他品種より多い。このために、元肥窒素の施用適量が著しく少ない点が特徴である。これに対して、倒れにくい早生品種のハヤヒカリは、全生育期間にわたって最適窒素保有量が多い上に、地力窒素吸収量は3品種中最も少ない。したがって、窒素の施用適量はコシヒカリとは対照的にかなり多くなる。

このように、収量レベルに対応した収量構成要素と生育時期別の最適窒素保有量、および地力窒素吸収量の関係から、品種別の好適な窒素施用量を明らかにすることが可能である。

これからの施肥に対する考え方

食糧生産を大きな目的とする農業にあっては、安全な食物を継続して安定多収できる耕地生態系を維持することが最も大切である。このためには、その耕地生態系ではどの程度の収量レベルが最適であり、それにはどのよ

うな生育相が適しているか、さらにそのような生育相を達成するためにはどのような栄養状態が最適であるかを明らかにする必要がある。このような基本的な点を踏まえて、そのためにはどのような施肥法が適しているかという視点から、施肥技術を組立ててゆくことが今後必要と考えられる。

このように、これからの施肥技術は作物の必要とする養分を定量的にとらえて、最適量を明らかにし、これを基本として施肥量を決めるという考えが必要である。この最適という考え方を基本に置くことにより、欠乏や過剰を避けて、良質で安全な食糧を必要にして充分なだけ供給することが可能となり、それはまた生産的な耕地生態系 (productive field ecosystem) を維持する上でも重要なことと考えられる。そして、これはまた、省資源と環境保全の立場からの提言⁽⁸⁾に対する、ひとつの答えともなり得ると思われる。

文 献

- 1) 村山 登：農業技術，39，442 (1984)。
- 2) 塩入松三郎：“土壤肥料講話”，朝倉書店，1953，p.93。
- 3) 木村次郎，千葉春雄：土肥誌，17，479 (1943)。
- 4) 村山 登：“収穫漸減法則の克服”，養賢堂，1982，p.77。
- 5) 深山政治，岡部達雄：千葉農試報，20，111 (1979)。
- 6) 志賀一：“作物比較栄養生理”，田中 明 編，学会出版センター，1982，p.139
- 7) 庄子貞雄，前 忠彦：“作物の生態生理”，文永堂，1984，p.102。
- 8) 小川吉雄，酒井 一：農と園，61，15 (1986)。
- 9) 松崎昭夫：“作物——その形態と機能(下)”，北条良夫，星川清親 編，農業技術協会，1976，p.149。

プロフィール

中島 路可 (Ruka Nakashima) Vol. 24, No.4, p.242 参照

西岡 五夫 (Itsuo Nishioka) 昭和3年1月21日生<略歴>昭和25年京都大学医学部薬学科卒業/35年九州大学薬学部助教授/43年同教授，現在にいたる<研究テーマと抱負>植物フェノールの化学的研究。バイオテクノロジーによる薬用植物の育種研究。天然物質を化学的研究で終りにすることがないよう，他領域の方々との共同研究の推進を常に望んでいます<趣味>スポーツ(テレビ鑑賞)，盆栽

三浦 一夫 (Kazuo Miura) 大正12年9月2日生<略歴>昭和21年東京帝国

大学農学部農芸化学科卒業/同年大阪市技手，市立生活科学研究所勤務/26年浪速大学(現大阪府立大学)農学部講師/29年同助教授/49年同教授，現在にいたる<研究テーマと抱負>昆虫生化学，特に細胞生化学を中心として<趣味>陶芸，園芸，魚釣り

深山 政治 (Masaharu Miyama) 昭和18年3月17日生<略歴>昭和40年千葉大学園芸学部農芸化学科卒業/同年農林省農事試験場勤務/45年千葉県農業試験場土壌肥料研究室技師/58年同水田作研究室室長，現在にいたる<研究テーマと抱負>水稻の施肥を作物学と作物栄養および土壌肥科学の全体的視点からとらえること<趣味>尺八

村尾 澤夫 (Sawao Murao) Vol.22, No.12, p.877 参照。現在，熊本工業大学工学部応用微生物工学科教授

柳川 伸一 (Shin-ichi Yanagawa) 昭和30年10月10日生<略歴>昭和54年京都大学農学部食品工学科卒業/59年同大学大学院農学研究科博士課程修了(食品工学)，同年日本学術振興会奨励研究員/61年同会特別研究員，現在にいたる<研究テーマと抱負>赤血球分化促進因子(エリスロポエチン，バースト形成促進因子)に関する分子生物学的研究

山田 秀明 (Hideaki Yamada) Vol. 23, No.7, p.469 参照