

水稻の減化学肥料栽培と根系分布

深山政治 * 齊藤幸一 在原克之 (千葉県農業試験場 * 千葉県原種農場)

1. 減化学肥料栽培と地力窒素吸収量

作物の生産にあたっては単位収量を上げるために、どの程度の養分量が必要かはほぼ決まっている。作物生産にとって大切な窒素を考えた場合、水稻では 100kg の玄米収量を得るために約 2 kg の窒素が必要とされ、600kg/10a の収量では約 12kg/10a の窒素が必要となる。この窒素の給源としては、土壌やかんがい水の窒素（以下、地力窒素）と人為的に供給する肥料窒素に分けられる。肥料窒素は大きく化学肥料窒素とそれ以外の有機質肥料や有機物に由来する窒素の二つに分けることができる。

環境保全型農業技術の柱である減化学肥料栽培は、化学肥料窒素についてみれば、その割合を少なくして、地力窒素や有機質に由来する窒素の割合を増やす栽培法である。

水稻の地力窒素吸収量の増加に関しては二つの方向が考えられる。一つは地力培養および有機質肥料等の増施によって窒素の供給量を増やし、化学肥料窒素の代替えをする方法である。これに対して、水稻の地力窒素の吸収能力そのものを高める第二の方法が考えられる。これには品種と栽培法の両面からのアプローチが可能である。

千葉県の壤土の湿田における水稻の地力窒素の吸収量を第 1 表に示した。品種によって明らかに異なり、地力窒素吸収量はいずれの生育ステージでもコシヒカリ > トドロキワセ > ハヤヒカリの順である。このように水稻の根を介した養分吸収能力には明らかに品種間差があり、減化学肥料栽培には品種の選定が重要なことが示されている。

第 1 表 水稻の地力 N 吸収量の品種間差

品 種	地力 N 吸収量 (kg/10a)			収 量 (kg/10a)	本田生育 期間(日)	育 成 年
	幼穂形成期	出穂期	成 熟 期			
ハヤヒカリ	3.3	5.3	7.3 (89)	346	113	昭和51年
トドロキワセ	3.5	5.7	7.5 (91)	402	119	昭和43年
コシヒカリ	4.1	6.1	8.2 (100)	419	129	昭和31年

1) 千葉県の壤土の湿田（肥沃度中）における早期栽培、5月初め植え

2) 化学肥料（N）無施用条件の水稻の地力 N 吸収量、1978、1981 のデータから平年値として算出。()内はコシヒカリ基準の相対値

3) 収量は1974～1981年の間の平均値

2. 品種によってどの程度、化学肥料窒素の減量が可能か

地力窒素吸収量の違いが、実際の化学肥料窒素の施用量にどの程度影響するのであろうか。そのためには水稻の必要とする窒素を定量的に把握する必要がある。この方法として筆者らは、水稻の収量構成要素とそれらが決定する時期の水稻群落が保有している窒素量の関係を検討し、両者の間に密接な関係が存在することを見いだした^{5, 6)}。

穂数は幼穂形成期の群落水稻が保有する窒素量でほぼ決まり、m²当たり全初数は出穂期のそれでほぼ決定する。収量は気象条件が同じであれば、成熟期の窒素保有量に支配される。実際に最適な窒素保有量を明らかにするためには、目標収量とそれを確保するために必要な穂数、全初数、出穂期葉面積等を品種に対応して明確にする必要がある。

これらの関係から第 1 表で示した 3 品種について、560 ～ 600kg/10a の収量を得るた

めにはどの程度の窒素保有量が必要であり、その給源別供給量はどの程度となるかを第2表に示した。幼穂形成期の最適窒素保有量はハヤヒカリが多く、ついでトドロキワセであり、コシヒカリは少ない。成熟期のそれは12kg/10a前後で品種間差は小さいものの傾向はほぼ同じである。このように水稻の最適窒素保有量は生育前半に品種間差が大きくなる特徴がある。

第2表 水稻の生育ステージ別最適N保有量からみた肥料N必要量

品 種	収 量 (kg/10a)	最適N保有量とその給源別供給量		化学肥料N依存度(%)		
		(kg/10a)	幼穂形成期	成熟期	幼穂形成期	成熟期
ハヤヒカリ	560~600	a (b + c)	6.5	12.5	49	42
		b (地力N)	3.3	7.3		
		c (肥料N)	3.2(267)	5.2(158)		
トドロキワセ	560~600	a (b + c)	5.8	12.0	40	38
		b (地力N)	3.5	7.5		
		c (肥料N)	2.3(192)	4.5(136)		
コシヒカリ	560	a (b + c)	5.3	11.5	23	29
		b (地力N)	4.1	8.2		
		c (肥料N)	1.2(100)	3.3(100)		

1) a : 最適N保有量 (a = b + c), b : 地力N由来量, c : 化学肥料N必要量

2) 第1表のデータから算出。()内はコシヒカリ基準の相対値

3) 化学肥料N依存度(%) = c / a × 100

つぎにこの最適窒素保有量から地力窒素吸収量を差し引けば、肥料窒素の必要量が求められる。肥料窒素の必要量の品種間差は幼穂形成期に著しく、コシヒカリの1.2kg/10aに対して、ハヤヒカリは3.2kg/10aと多くなる。成熟期には品種間差は縮まるが同様な傾向を示す。このためにほぼ同じ収量レベルであっても、全窒素吸収量に占める化学肥料窒素の割合(化学肥料窒素依存度)は、コシヒカリの29%に対し、ハヤヒカリでは42%に達する。

以上の結果から、生育期間別の肥料窒素必要量を求め、施肥窒素の利用率を考慮して千葉県の水田における好適な窒素施肥配分が求められる。好適な基肥窒素施用量はコシヒカリの2.7kg/10aに対して、トドロキワセでは1.9倍の5.1kg/10a、ハヤヒカリでは2.7倍の7.1kg/10aと著しく多くなる。一方、幼穂形成期以降の肥料窒素必要量はいずれの品種も2kg/10a程度であり、好適な穂肥窒素施用量には品種間差がみられない。この結果、化学肥料窒素の全施用量はコシヒカリの5.9kg/10aに対して、トドロキワセ8.5kg/10a、ハヤヒカリ10.2kg/10aと多くなる。

このようにほぼ同じ560~600kg/10aの収量を確保するのに必要な施肥窒素量はハヤヒカリに比べて、コシヒカリでは40%以上減量可能であり、基肥窒素のみでみれば60%以上減らすことができる。施肥窒素量の少ないコシヒカリの特徴をみると、幼穂形成期までの最適窒素保有量が少なく、一方でこの間の地力窒素吸収量が多いことが分かる。

以上のことは本田生育期間が長い晩生品種ほど地力窒素吸収量が多く、化学肥料窒素の減量が可能なことを示している。これに対し、本田生育期間が短い早生品種は化学肥料窒素の必要性が高い傾向がみられる。

3. 地力窒素吸収量の品種間差と根の特性

さらに別の新旧の品種について地力窒素吸収量を調べた¹⁾。その結果は前述した内容

と同様で、本田生育期間の長い千葉旭の地力窒素吸収量（10.8kg/10a）はコシヒカリ（8.6kg/10a）よりも多く、早生で生育期間の短いはなの舞（8.1kg/10a）は少ないことが認められた。現在、育成年代の影響をさらに詳しく知るために、同じ生育期間の品種について調べているが、地力窒素の吸収量に差異が認められている。

これらの点から考えると品種による地力窒素吸収量の違いは、第一に本田生育期間の長短が関与し、第二にそれぞれの品種が育成された環境が関与していると考えられる。特にそれぞれの品種が育成された時代の施肥レベルが影響していることが推察される。

米の生産に対する近年の歩みをみると、太平洋戦争後は米の増産が第一に要望され、それに対応して多収性品種の育成が強力に進められたが、これを支えた技術の一つが多肥化であった。この時代の育種方向は受光態勢の良い草型の開発をねらいに、耐肥性の向上と多肥条件でも倒伏しない品種の育成であった。この結果、収量レベルの高い優れた品種が育成され、米の単収は著しく向上して自給率 100% が達成された。

この間の稲作における窒素質肥料の施用状況を見ると、化学肥料窒素の占める割合は昭和に入って次第に増加し、昭和二十年代後半には大半が化学肥料窒素となった⁸⁾。実際の化学肥料窒素の施用量（10a 当たり）の推移を見ると、昭和二十年代の 6～7kg から、三十年代は 8～9kg に、四十年代には 10kg 前後へと増加している^{2, 7)}。各県における水稻の奨励品種決定試験も、これを反映して多肥条件下で品種選定が進められたと考えられる。

この多肥多農薬で増産をめざした時代に育成された品種は、土壌中の化学肥料養分レベルが高い条件下で選抜されることにより、低濃度の地力養分を吸収する能力がそれ以前より低くなった可能性がある。

水稻の根系の形成にもっとも影響する養分は窒素であり、土壌中の化学肥料窒素レベルが高まると根はその方向に発達することが知られている⁴⁾。一方、土壌中の肥料窒素レベルが高いと根域は小さくなり、低いと大きくなることが指摘されている³⁾。これは水稻体内の窒素濃度が葉身や根等への乾物の配分を支配しているためと考えられている⁹⁾。第 3 表にトドロキワセを供試して、基肥窒素レベルを変えた場合の幼穂形成期における地上部（T）と根（R）の乾物生産量を示した。化学肥料窒素が多くなると地上部の生育は旺盛になるが、根の乾物重はほぼ一定である。この結果、T/R 比は化学肥料窒素の施用量が増すと高くなる。このような多肥条件下で選抜された品種はかなり偏った特性の根を持つようになったのではなかろうか。耐肥性の強化を図りつつ多収性品種の育成が進められてきたが、その過程で低濃度の地力養分を十分に利用できない根系を選定してきた可能性が高い。このことは野菜の品種育成にも当てはまることのように思われる。

第 3 表 化学肥料 N 施用量と
水稻の幼穂形成期の T/R 比

基肥 N 施用量 (kg/10a)	幼穂形成期の乾物重		
	地上部・T (g/m ²)	根・R (g/m ²)	T/R 比
0	270	30	9.0
4	375	33	11.4
6	408	30	13.6
8	487	29	16.8

注) 品種：トドロキワセ

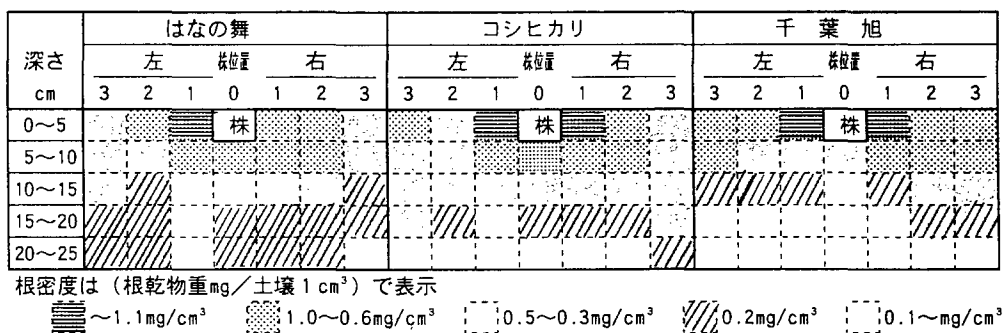
以上のような視点に立ちつつ、古い品種と新しい品種の根系分布の特徴を見たのが第 1 図である。

昭和 10 年育成の千葉旭は表層の根密度が高く、畦の中央も株元もほぼ同等であり、下層への分布はわずかである。これに対して昭

和 62 年育成のはなの舞は表層より下層への根の分布が多く、畦の中央では表層の根密度が低くなっている。昭和 31 年育成のコシヒカリは両者の中間的な傾向を示した。施肥した場合も基本的には同様な結果であった。この根の分布の特徴からみると古い品種の千葉旭は肥沃な表層に根をまんべんなく張って地力養分を十分に利用していると考えられる。これらのことは品種の育成された環境によって根系の分布に特徴があり、地力養分を多く吸収する品種は表層に広く根を張る特性を持っていることが伺われる。

ただし、古い品種は収量レベルが低く、この改良のために受光態勢の良い品種の育成が進められてきた経緯がある。現在、広く作られているコシヒカリは地力養分吸収能力の点で優れた特性を持ち、減化学肥料栽培に適した品種である。

これらのことも含めて考えると、これからの品種育成の方向として、どのような特徴の根をもった品種を育成すべきかを十分に検討することが望まれる。その一つとして、環境保全型農業技術を考えるとき、地上部は受光態勢が良く、一方、根は地力養分の吸収力の高い品種の育成が必要と考えられる。他方で稲作の生産安定の持続のためには、地力養分の利用はどの程度が適切かを検討することも必要である。



第 1 図 化学肥料無施用水稻の根密度分布の品種による差異(成熟期)

- 1) 0は株の位置、1は株より2.5~7.5cm、2は7.5~12.5cm、3は畦の中央で12.5~17.5cm
- 2) 栽植密度は19.6株/m²(30cm×15cm)。93年の収穫後に改良モノリスで平均穂数株の根を採取した。株を中心にして、畦と直角方向に幅40cm、厚さ5cm、深さ30cmを採取し、これを幅5cm、深さ5cm、厚さ5cmの区画に区分し、根乾物重を測定。第4表と同じ水稻。

引用文献

- 1) 在原克之・斉藤幸一・深山政治(1995)日作紀 64(別 2):7-8
- 2) 川田信一郎(1976)日本作物栽培論:75、184
- 3) 川田信一郎・副島増夫(1977)日作紀 46:24-36
- 4) 鯨 幸夫(1995)根ハンドブック:129-130
- 5) 深山政治・岡部達雄(1984)土肥誌 55:1-8
- 6) 深山政治(1988)千葉農試特別報告 15:19-22、50-2
- 7) 村山 登(1982)収穫漸減法則の克服:139-151
- 8) 高橋英一(1984)施肥農業の基礎:247
- 9) 津野幸人(1971)作物の光合成と物質生産:280-27