

窒素栄養よりみた作物の生産性 (1)

北海道大学農学部

助 手 大 崎 満

作物の生産を制限する要因は古くは無機養分、特に窒素の供給であり、これが十分に供給されるようになると光合成能(source 能)、特に受光体制が問題とされ、短稈直立葉型の作物が育成されるにおよんで子実肥大能(sink 能)が次の収量制限要因と目されるようになってきた。しかし、筆者は最近、各種作物における窒素化合物の集積・分配の解析や、多収穫作物の生理的要因の解析を通して依然として窒素栄養が作物の生育や収量の制限要因として働いている可能性が強いことを痛感するようになった。以下にその根拠を述べることにするが、研究はまさに開始されたばかりであり、色々と御教示願えれば幸いである。

1. 炭素・窒素の流れと制御の基本モデル

作物の生産性は複雑な要因により支配されている。これを解析するためには各作物についての炭素・窒素の代謝・利用・分配の基本知識が必要である。しかし、これまで炭素と窒素の挙動については別々に解析される例がほとんどであった。あるいは、窒素施与に対して炭素代謝がどのように変化するかという研究が多い。そこで、ここでは炭素と窒素の挙動を同時に解析することの重要性について論じる。

第1図のA図は炭素の流れを示したもので、そ

の上図は二酸化炭素の同化と乾物生産との関係を示すもっとも基本的なモデルである。このモデルでは植物体の大きさに応じて二酸化炭素の同化が起こる。つまり、乾物は複利的に増加し、生長速度(RGR)は一定となる。しかし、実際には生長速度は生育が進むにつれて低下するようになる。その要因として(1)生育にともない光合成器官である葉(source)自身への光合成産物の投資割合が減少し、光合成産物は茎や収穫部位(sink)へ投資されるようになり、乾物の複利的な増加が困難になることと、(2)呼吸が上げられる。呼吸はA下図のごとく生長呼吸と維持呼吸に分けて示されることが多い。つまり、光合成産物の一部を呼吸により消費してエネルギーを生成し、これにより新たに植物体が構成され(生長呼吸)、一方植物体の維持のために植物体重に見合った量の呼吸(維持呼吸)が行なわれている。したがって、植物体が大きくなるにつれて維持呼吸量が増えてRGRを低下させる一要因となる。このことを、葉面積と関連させて、群落状態では最適葉面積指数が存在すると考えられてきた。葉面積指数(LAI)の増加により、光合成能は頭打ちとなり、呼吸能は直線的に増加するために乾物生産能はあるLAIを最大として、それ以上のLAIで低下し始めるため

本 号 の 内 容

§ 窒素栄養よりみた作物の生産性 (1)	1
----------------------------	---

北海道大学農学部

助 手 大 崎 満

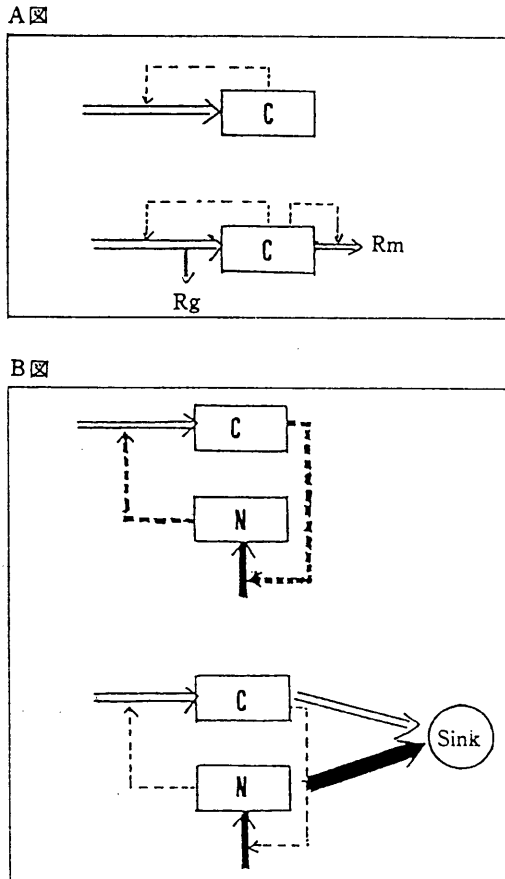
§ ゴルフ場の芝地に発生する 病害虫・雑草の農薬による防除と耕種的防除	5
--	---

西日本グリーン研究所

研究総務部長 鍋 島 英 男

第1図 炭素・窒素の流れと制御の基本モデル

(Cは炭素量, Nは窒素量, Rgは生長呼吸量, Rmは維持呼吸量)



に乾物生産能に対する最適葉面積指数が存在する。しかし, Mc Cree¹⁾の解析によると最適葉面積指数はかなり高い葉面積においても存在しない。また, 北海道の畑作物について群落状態で¹⁴C O₂を同化させ, その残存割合(光合成産物中一部は呼吸で逃げ, 残りは植物体中に構成されるが, この構成割合)を求めた所この値は各種作物とも生育とともにむしろ高まることから, 登熟期間中, 初期光合成産物はすみやかに収穫部位へ移行し, 茎葉の維持のための呼吸として消費されることはほとんど認められない²⁾。このことは群落中では下位葉は相互遮蔽により光合成が出来なくなるために上位葉から光合成産物を多量に供給され, それを呼吸基質として消費するということを前提とした群落乾物生産理論が成り立たないことを示している。したがって, これまでのように, 光合成

能と呼吸能の収支のみにもとづいて乾物生産能を論じる手法には限界が存在すると思われる。

そこで炭素のみならず作物の生育にとって炭素と同様に重要な要素である窒素にも着目して, 炭素と窒素の相互作用を通して乾物生産能が解析できないものかと, B図のような基本モデルを考えた。まず, 栄養生長期(B上図)には, 炭素量(乾物重)と窒素量がそれぞれ窒素吸収能と光合成能を規制している。つまり, 植物体重に応じて窒素吸収が起こり, 窒素量に応じて光合成が起こる。この循環により炭素と窒素が相互を媒介とするハイパーサイクルを構成する。このような条件下での生産は指数関数的である。次に登熟期について考える(B下図)。登熟期には強力なsinkが茎葉以外に形成されるため, 茎葉への炭素・窒素の投資が少なくなり, 作物によってはむしろ茎葉からの収奪が急激に進む。また, この時期に固定した炭素はほとんどがsinkに転流し, それ以前に茎葉に構成された炭水化物はほとんど茎葉で呼吸により消費される³⁾。窒素は登熟期以前に茎葉に貯蔵されたものがsinkに転流する割合が多いため葉での窒素量が減少し, このため光合成能が低下し, さらに根に光合成産物が十分に供給されなくなり窒素吸収能も低下する。そのことが一層茎葉から収穫部位への窒素の収奪を促進することとなる。このように登熟期には炭素と窒素の関係は乾物生産能に対してむしろ負のハイパーサイクルを構成しやすくなる。

したがって, もしこのモデルが妥当であるなら, 登熟中に高い乾物生産能を得るためには, (1)いかにして根に光合成産物を供給するか, (2)いかにして葉での機能タンパク質の減少を防ぐか, (3)いかにして根の活性を高く保ちながら養分を供給するかといったことが重要な問題となる。

以上が炭素・窒素の相互作用からみた乾物生産の基本モデルです。以下にこのモデルにのっとって解析・考察した点について2~3述べることにします。

2. 根の機能維持

石塚・田中⁴⁾によるとイネの下位葉は根と関係が深く, 下位葉から根に送り込まれた同化産物は根で呼吸に消費され, そのエネルギーによって養

分が吸収される。つまり草型の改良により乾物生産能が高まった一因として、下位葉にも光が十分に当たるようになり根の活性が高く保たれるようになった可能性が強い。一方、バレイショの多収系統W80135-40の収量(乾物)は16.3t/haで、全乾物重も17.7t/haと極めて高いが草型(群落構造)はこれまでの栽培品種と変わらず極めて悪かった⁵⁾。しかし、塊茎肥大盛期の光合成能と窒素吸収能は高く保たれていることから、なんらかの機構により根への光合成産物の供給が十分に行なわれていたと推定される⁶⁾。これらの点については多収と標準品種の登熟期間中の根の活性の比較を通してさらに明らかにしていく予定である。

3. 窒素分配のパラメーター解析

炭素・窒素の分配を解析するためにはパラメーター解析は有効で、以下に収量と窒素との関係について示した。

$$Ye = N \times HI(N) / N\% \times 100 \dots (1)$$

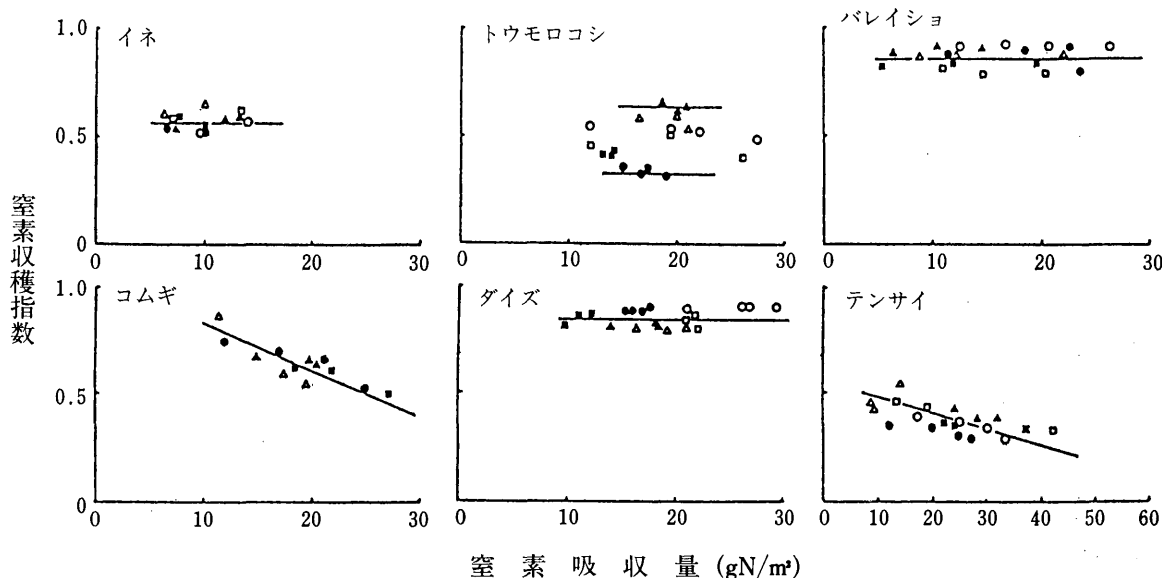
ここでYeは収量(g/m²)、HI(N)は窒素の収穫指数、Nは窒素吸収量(gN/m²)、N%は収穫器官の窒素含有率である。なお、値はすべて収穫期のものである。さて、各パラメーターをどのように解析するかがもっとも重要である。ここでは、炭素と窒素の関係を論じたいわけであるから、これらパラメーターをすべて窒素吸収量(N)との関係に限定して解析する事とする。データは当教室で

3レベルの窒素施用量で各種作物を5年間にわたって栽培したものをまとめたものである。

NとHI(N)との関係：HI(N)はNに係わらず一定であったのはイネ、トウモロコシ、ダイズ、バレイショであり、コムギ、テンサイではNが大きくなるとHI(N)は低下した(第2図)。なお、トウモロコシのHI(N)はNに係わらず一定であったものの年次間差が認められた。これまでHI(N)は窒素吸収量が増すと低下するという報告が多い。しかし、コムギ、テンサイ以外ではHI(N)はNにかかわらずむしろ一定に保たれる機構が存在していると考えた方が良い。さらに、窒素、リン、カリを欠乏させて75年間作物を栽培してきた3要素試験区にて4作物(ハルコムギ、トウモロコシ、ダイズ、バレイショ)を栽培し、それぞれの要素欠乏がHI(N)におよぼす影響を調べた⁷⁾。それによると、各作物ともHI(N)は要素欠乏の影響を受けにくかった。以上のことから窒素の茎葉と収穫部位への最終的な分配割合は窒素吸収量に対してある規則性をもって各作物ごとに決定されているのは確かである。

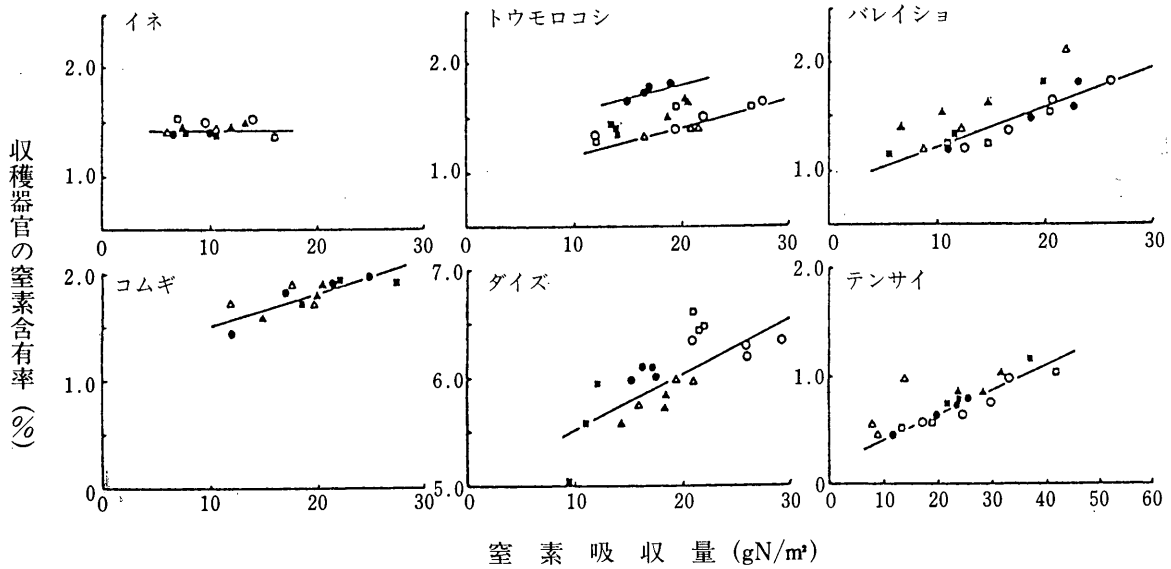
NとN%との関係：N%はイネ以外ではNが大きくなると大きくなる傾向があった(第3図)。なお、N%はイネではNに係わらず一定であり、トウモロコシでは年次間差はあるものの、各年ではNとの相関が認められた。いずれにしても各作

第2図 窒素吸収量(N)と窒素収穫指数 [HI(N)] との関係

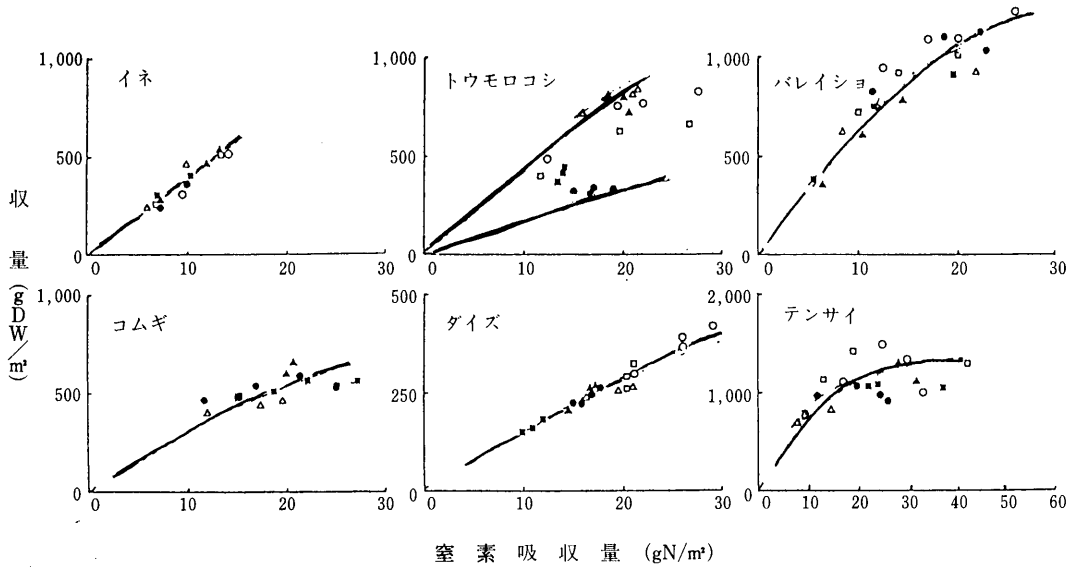


(吉村明卒論(1986年)のデータより作成、○1980年、●1981年、□1982年、■1983年、△1984年、▲1985年、なお、イネで200kgN/ha以上の窒素施与区では強度の倒伏のためデータを除外した。)

第3図 窒素吸収量(N)と収穫器官の窒素含有率(N%)との関係 (データ・記号は第2図と同様)



第4図 窒素吸収量(N)と収量(Ye)との関係 (データ・記号は第2図と同じ)



物特有のNとN%の関係が認められた。Nに対してN%がある程度予想可能であるのでこの関係は品質を論じるうえで重要なパラメーターとなりうる。

NとYeとの関係：先の(1)式にNとそれぞれとのパラメーターとの関係式(第2, 3図)を代入し、Yeの予想式を得、これらを第4図中に示した。(1)式と実測値との相関は非常に高かった。つまり、(1)式は極めて重要な意味を含んでいると考えられる。これまで、乾物生産に対する窒素施与の効果は栽培、地力、気象などの影響を強く受けるため、これらについての一般法則を見出すのは

困難と考えられてきた。しかし、あまり極端な生育条件でないかぎり窒素吸収量(N)に基づいて収量予想が可能と考えられる。そして式の性質上、収量が多量の窒素吸収により頭打ちになるのはN%が原因であり、作物によってはHI(N)も原因となりうる。

以上のごとく、これまであまり注目されることがなかったけれど、窒素の利用・分配についてはむしろ安定な機構が存在するといえる。しかし、この機構が異なった品種、地力、気象条件においても同様に発揮されるかについて更に検討を要する。(つづく)