

学 位 論 文 題 名

イネ科作物とマメ科作物における炭素・窒素相互関係の
作物間差の解析

学位論文内容の要旨

作物の乾物生産能を決定する要因として、単位窒素集積量当たりの乾物生産能(窒素利用効率)は極めて重要な要因であり、個々の作物の窒素利用効率は炭素・窒素の相互関係において決定される。これまでに、収穫期の単位窒素集積量当たりの乾物生産能はイネ科作物でマメ科作物より高く、生育期間中の全窒素集積量と全乾物重の関係はイネ科作物では指数関数的に、マメ科作物では直線関係になり、炭素・窒素の相互関係はイネ科作物とマメ科作物で異なることが明らかにされている。そこで、本研究はイネ科作物とマメ科作物で炭素(乾物)・窒素の相互関係が異なる原因を探るため、両科作物について、1)養分ストレスおよび高CO₂濃度などの特殊環境条件が炭素(乾物)・窒素の相互関係におよぼす影響、2)葉におけるガス交換能および葉の構造が炭素(乾物)・窒素の相互関係におよぼす影響、および3)葉における炭素・窒素代謝に差異をもたらす要因を明らかにすることを目的として実施した。得られた結果は以下の通りである。

1.特殊環境下でのイネ科作物とマメ科作物における炭素・窒素の相互関係の差異

(1)収穫期における窒素利用効率はイネ科C₄作物で高く、イネ科C₃作物でそれに次ぎ、マメ科作物で低かった。

(2)収穫期のイネ科作物とマメ科作物における全窒素集積量と全乾物重の関係は、イネ科C₃作物内、イネ科C₄作物内およびマメ科作物内では養分欠乏処理お

および作物種によらず、それぞれほぼ直線的関係にあり、窒素利用効率は各科作物内では養分欠乏による変動は見られたものの、イネ科作物とマメ科作物の窒素利用効率の差異を逆転する程の影響を与えなかった。

(3)ダイズの根粒着生型(A62-1)と非根粒着生型(A62-2)の同質遺伝子系統を比較すると、A62-2でA62-1より窒素利用効率が高かった。しかし、イネ科作物とA62-2を比較すると、イネ科作物で窒素利用効率が高かった。さらに、葉における暗呼吸は標準的養分条件においても養分欠乏条件においてもともにマメ科作物でイネ科作物より高かった。したがって、イネ科作物とマメ科作物の窒素利用効率の差異を支配する要因として根粒着生による光合成産物の消費も関与するが、葉の生理機能がイネ科とマメ科作物間で異なることが差異をもたらす主因であると考えられた。

(4)コムギ(ハルユタカ)、ダイズの根粒着生型であるキタムスメ、A62-1、非根粒着生型であるA62-2を供試し、窒素処理、CO₂処理、温度処理を行い、コムギとダイズにおける生育にともなう炭素・窒素の相互関係の評価を試みた。炭素・窒素の相互関係の指標である単位窒素当たりの乾物生産能はCO₂処理および温度処理にかかわらず、コムギでは指数関数的関係であり、その傾きは0N区で30N区より高く、ダイズの30N区では直線的関係にであった。ダイズの0N区は生育初期の乾物量が小さいとき、窒素吸収量に対して乾物量が相対的に高いが、乾物重が増加すると炭素-窒素の関係は直線関係に近づいた。したがって、ダイズの炭素・窒素の相互関係は0N区の場合、窒素固定が始まったあと、直線関係にもどると考えられた。イネ科作物およびマメ科作物の炭素・窒素相互関係は大気中のCO₂濃度および温度処理の影響を受けなかった。

(5)これらの結果から、イネ科作物およびマメ科作物の炭素(乾物)・窒素の相互関係の差異は養分欠乏および高CO₂条件などの特殊環境下でも強い影響を受けず、生理的に極めて安定な異なる機構によって支配されていることが示唆された。

2.イネ科作物とマメ科作物における炭素・窒素の相互関係に差異をもたらす機構

(1)地上部最大期の光合成速度および生育にともなう光合成速度の変遷を調査した結果、マメ科作物でイネ科作物より単位窒素当たりの光合成速度が低く、地上部最大期における最大展開葉の光呼吸/総光合成速度比はマメ科作物でイネ科作物より高かった。

(2)マメ科作物ではイネ科作物と比較して葉の単位窒素当たりのクロロフィル含有率は低く、気孔抵抗は高く、葉内 CO_2 濃度は低かった。また、マメ科作物では葉のデンプン含有率と光呼吸/総光合成速度比の間に正の相関が存在した。

(3)葉のデンプン含有率はマメ科作物でイネ科作物より高く、マメ科作物では比葉面積(SLA)とデンプン含有率との間に負の相関が存在した。葉のデンプン含有率が高い場合には葉内の CO_2 拡散速度が低下するために、マメ科作物でイネ科作物より葉内の CO_2 拡散速度が低く、その結果、葉内 CO_2 濃度が低下し、Rubisco活性サイトでの CO_2 濃度の低下が起これと考えられた。

(4)マメ科作物の単位窒素当たりの光合成速度がイネ科作物より低く、光呼吸/総光合成速度比が高い原因は、マメ科作物でイネ科作物より(A)気孔抵抗が高く、(B)単位窒素当たりのクロロフィル含有率が低く、(C)葉におけるデンプン含有率が高く、葉が厚くなり、デンプンの集積が葉内の CO_2 拡散速度の低下をもたらすことによると推定された。

(5)栄養生長期と地上部最大期に21% O_2 および2% O_2 条件でイネとダイズの葉に $^{14}\text{CO}_2$ を同化した結果、同化終了後30分間における葉からの同化 $^{14}\text{CO}_2$ 放出割合は21% O_2 区と比較して2% O_2 区で低下し、21% O_2 区に対する2% O_2 区の放出割合の比はダイズでイネより小さく、光呼吸による $^{14}\text{CO}_2$ の放出量はダイズでイネより高かった。

(6) $^{14}\text{CO}_2$ から葉で同化した ^{14}C はイネでは炭素代謝系である糖・多糖類画分に多く分配され、ダイズでは窒素代謝系である有機酸・アミノ酸画分に多く分配された。両作物とも窒素施与区で無窒素区より有機酸・アミノ酸画分への ^{14}C の分配割合は高かった。同化した ^{14}C の有機酸・アミノ酸画分への分配割合は、21% O_2 区より2% O_2 区で低く、この低下割合はダイズでイネより大きかったことから、光呼吸は窒素代謝系に関与しており、ダイズでイネよりこの関与は強かった。

(7)葉のSPS(スクロースリン酸シンターゼ)とPEPC(ホスホエノールピルビン酸

カルボキシラーゼ)の活性を測定した結果、葉の窒素含有率の上昇にともない PEPC/SPS活性比は上昇した。また、PEPC/SPS活性比はイネよりダイズで高かった。したがって、イネにおいては獲得した炭素を優先的に炭素代謝系に分配し、ダイズにおいては獲得した炭素を優先的に窒素代謝系に分配する機構が存在し、この分配にSPSとPEPCが関与していることが示唆された。

(8)以上の結果から、イネ科作物とマメ科作物で炭素(乾物)・窒素の相互関係が異なる原因は、主にマメ科作物でイネ科作物より(A)単位窒素当たりの光合成速度が低いこと、(B)光呼吸/総光合成速度比が高いこと、(C)獲得した炭素を窒素代謝系に優先的に振り分ける機構が存在することによると結論した。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 但 野 利 秋

副 査 教 授 本 間 守

副 査 教 授 波多野 隆 介

学 位 論 文 題 名

イネ科作物とマメ科作物における炭素・窒素相互関係の 作物間差の解析

本論分は、図34、表14、引用文献230を含み、7章からなる総頁数133の和文論文である。別に参考論文4編が添えられている。

作物の乾物生産能を決定する要因として、単位窒素集積量当たりの乾物生産能(窒素利用効率)は極めて重要な原因である。個々の作物の窒素利用効率は主に炭素・窒素の相互関係によって決定されるが、炭素・窒素の相互関係はイネ科作物とマメ科作物で異なることが明らかにされている。本論文はイネ科作物とマメ科作物で炭素(乾物)・窒素の相互関係が異なる原因を探るため、両科作物について、1)養分ストレスおよび高CO₂濃度などの特殊環境条件が炭素(乾物)・窒素の相互関係におよぼす影響、2)葉におけるガス交換能および葉の構造が炭素(乾物)・窒素の相互関係におよぼす影響、および3)葉における炭素・窒素代謝に差異をもたらす要因を明らかにすることを目的として実施した研究の結果をとりまとめたものであり、その内容は下記のごとく要約される。

1. 特殊環境下でのイネ科作物とマメ科作物における炭素・窒素の相互関係の 差異

(1) 収穫期における窒素利用効率はイネ科C₄作物で高く、イネ科C₃作物でそ

れに次ぎ、マメ科作物で低かった。養分欠乏処理実験での収穫期のイネ科作物とマメ科作物における全窒素集積量と全乾物重の関係は、イネ科C₃作物内、イネ科C₄作物内およびマメ科作物内で、それぞれほぼ直線的関係にあり、窒素利用効率は各科作物内では養分欠乏による変動は見られたものの、イネ科作物とマメ科作物の窒素利用効率の差異を逆転する程の影響を与えなかった。

(2) ダイズの根粒着生型(A62-1)と非根粒着生型(A62-2)の同質遺伝子系統を比較すると、A62-2でA62-1より窒素利用効率が高かったが、イネ科作物とA62-2を比較すると、イネ科作物で窒素利用効率が高かった。さらに、葉における暗呼吸は標準条件でも養分欠乏条件でもともにマメ科作物でイネ科作物より高かった。したがって、イネ科作物とマメ科作物の窒素利用効率の差異を支配する要因として根粒着生による光合成産物の消費も関与するが、葉の生理機能がイネ科作物とマメ科作物間で異なることが差異をもたらす主因であると考えられた。

(3) イネ科作物およびマメ科作物の炭素・窒素相互関係は大気中のCO₂濃度および温度処理の影響を受けなかった。

(4) これらの結果から、イネ科作物およびマメ科作物の炭素(乾物)・窒素の相互関係の差異は養分欠乏および高CO₂条件などの特殊環境下でも強い影響を受けず、生理的に極めて安定な異なる機構によって支配されていることが示唆された。

2.イネ科作物とマメ科作物における炭素・窒素の相互関係に差異をもたらす機構

(1) 単位窒素当たりの光合成速度はマメ科作物でイネ科作物より低く、地上部最大期における最大展開葉の光呼吸/総光合成速度比はマメ科作物でイネ科作物より高かった。

(2) マメ科作物の単位窒素当たりの光合成速度がイネ科作物より低く、光呼吸/総光合成速度比が高い原因は、マメ科作物でイネ科作物より(A)気孔抵抗が高く、(B)単位窒素当たりのクロロフィル含有率が低く、(C)葉におけるデンプン含有率が高く、葉が厚くなり、デンプンの集積が葉内の CO_2 拡散の低下をもたらすことによると推定された。

(3) $^{14}\text{CO}_2$ を葉で同化後30分間における葉からの同化 $^{14}\text{CO}_2$ 放出割合は21% O_2 区と比較して2% O_2 区で低下し、21% O_2 区に対する2% O_2 区の放出割合の比はダイズでイネより小さく、光呼吸による $^{14}\text{CO}_2$ の放出量はダイズでイネより多かった。

(4) 葉で同化した ^{14}C はイネでは炭素代謝系である糖・多糖類画分に多く分配され、ダイズでは窒素代謝系である有機酸・アミノ酸画分に多く分配された。同化した ^{14}C の有機酸・アミノ酸画分への分配割合は、21% O_2 区より2% O_2 区で低く、この低下割合はダイズでイネより大きかった。したがって、光呼吸が窒素代謝系に関与しており、ダイズでイネよりこの関与は高かった。さらに、PEPC/SPS活性比はイネよりダイズで高いことから、獲得された炭素はダイズでイネより窒素代謝系へ優先的に振り分けられ、この振り分けにPEPCが関与していることが示唆された。

(5) 以上の結果から、イネ科作物とマメ科作物で炭素(乾物)・窒素の相互関係が異なる原因は、主にマメ科作物でイネ科作物より(A)単位窒素当たりの光合成速度が低いこと、(B)光呼吸/総光合成速度比が高いこと、および(C)獲得した炭素を窒素代謝系に優先的に振り分ける機構が存在することによると結論した。

以上のように、本研究は、作物の生産性を支配する基本的な要因である炭

素・窒素の相互関係に注目して、生産性が高いイネ科作物と低いマメ科作物の炭素・窒素相互関係に差異が存在する原因について重要な新知見を提供したものであり、得られた結果は学術的に高く評価できるばかりでなく、実際の農業の場においても貢献するところが極めて大きい。よって、審査員一同は、別に実施した最終試験の結果と合わせて、本論文の提出者中村卓司は博士（農学）の学位を受けるのに十分な資格があるものと認定した。