

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 6月 3日現在

機関番号：82111

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010～2012

課題番号：22580021

研究課題名（和文） 品種・環境要因に基づく水稲穂数予測モデルの開発

研究課題名（英文） Modeling of genotypic and environmental variation in panicle number of rice

研究代表者

吉田 ひろえ（YOSHIDA HIROE）

独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構・中央農業総合研究センター情報利用研究領域・研究員

研究者番号：90546920

研究成果の概要（和文）：水稲穂数予測モデルの開発のため、群落基部補光装置を用いた光質処理や窒素施用処理により、水稲の茎数動態に及ぼす光量・質、窒素供給速度の影響およびそれぞれの関係性を検討した。群落基部に対する赤色光の補光は最高分げつ期以降の分げつの減少に影響を及ぼさないことを明らかにした。最高分げつ期の出現時期は土壌溶液中のアンモニア態窒素の消長に依存する一方、それ以降の窒素吸収速度が茎数に及ぼす影響は小さく、受光量の多寡による光合成産物量の差が有効茎数の維持により重要であることが示唆された。

研究成果の概要（英文）：Field experiments utilizing a red light control system showed that improving R/FR ratio in the lower part of the rice canopy had no remarkable effect on the change in tiller number after the maximum tillering stage. Although the disappearance time of the soil ammonium nitrogen roughly matched with maximum tillering stage of rice, the abundant nitrogen absorption at maximum tillering stage did not increase tiller number.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2011年度	900,000	270,000	1,170,000
2012年度	1,100,000	330,000	1,430,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：作物学

科研費の分科・細目：農学、作物学・雑草学

キーワード：水稲、分げつ、群落光環境

1. 研究開始当初の背景

近年コムギを対象に、群落内の光環境に基づいて、分げつ発生動態を推定するモデルが提案された(Evers et al. 2007)。このモデルは、葉面積の発達に伴う群落基部の光環境の悪化が分げつ発生の停止をもたらすという仮説に基づくもので、この理論は、栽植密度による分げつ数の変動をよく説明した(Evers et al. 2006)。また Zhong et al. (2002)は、水稲において、分げつに対する光の影響は施肥窒素条件

によって異なることを明らかにした。これらの結果は、品種・環境条件によって変動する穂数のモデル化において、(1)光が分げつの発生・生長に与える直接的影響の解明、(2)植物体窒素が分げつの発生・退化に影響を及ぼすメカニズムの解明の2点が重要であることを、強く示唆するものである。

2. 研究の目的

本研究の最終目的は、本課題で実施する栽培試験データを基に、水稻穂数予測モデルを開発することである。

これまでの水稻群落に対する補光・遮光実験では、群落上部から照射する光量の調節がほとんどであったため、光強度の変化による光合成その他の生理プロセスへの影響を避けられず、光質が分げつの発生・生長に対するどの程度の直接的影響を与えるのかを、単離して解析することはできなかった。そこでまず(1)新たな群落内光環境制御装置を作成して群落基部の赤色光 (R) /遠赤色光 (FR) 比を改変し、遮光処理を組み合わせ、水稻群落の分げつの発生・生長に対する、光質や遮光処理による受光量の影響を明らかにしようとした。また、(2)窒素吸収が茎数動態に及ぼす影響を明らかにするため、施肥パターン、作期を変えて新潟県上越市と茨城県つくばみらい市の2地点で栽培試験を行い、土壌アンモニア態窒素濃度と茎数動態の関係を明らかにしようとした。

3. 研究の方法

(1)最高分げつ期以降の分げつ数の減少に関わる光の影響

(i)反射板を群落基部に設置した下遮光区、(ii)群落基部に反射板と赤色 LED を設置した下補光区、(iii)群落上部に遮光シートを設置した上遮光区、(iv)上遮光と下補光を組み合わせた遮+補光区(図1)、および(v)無処理区の計5処理区を設けて、新潟県上越市において2011年と2012年の2カ年にわたって群落光処理試験を行った。品種はコシヒカリを供試した。処理期間は、2011年は最高分げつ期前・後各2週間、2012年は最高分げつ期から節間伸長終了期までとした。処理前後に茎数や生長量を測定し、処理期間中に群落基部の日射透過量や赤色光 (R) /遠赤色光 (FR) 比等を調査した。

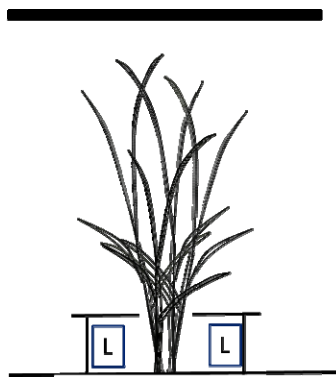


図1. 上遮光と下補光の模式図。

(2)分げつ発生・減少に及ぼす窒素 (N) 吸収の影響

2012年に新潟県上越市において、(i)速効性肥料を基肥 (4 g Nm^{-2}) と穂肥 (3 g Nm^{-2}) に分施した無処理区 (試験1の無処理区と同条件) と、(ii)緩効性肥料 LP140 を移植前に 6.3 g Nm^{-2} 施用した LP140 区、(iii)速効性肥料を基肥として 4 g Nm^{-2} 施用し、最高分げつ期に多量の追肥 (5 g Nm^{-2}) を行った追肥区の3処理区を設けて栽培試験を行い、茎数の推移や、土壌アンモニア態 N 濃度、および N 吸収特性を調査した。

また2012年に茨城県つくばみらい市において、移植日を5月9日、5月30日、6月21日、7月11日とする作期移動試験を行い、移植-移植3週目までは3日おき、以降移植7週目までは1週間おきに、茎数および土壌アンモニア態 N 濃度を測定した。施肥は、即効性肥料を基肥と追肥に分施したが (作期4のみ生育期間の短縮のため追肥省略)、全作期とも茎数・土壌アンモニア態 N 濃度測定期間中には追肥を行わなかった。供試品種は両地点とも、コシヒカリを用いた。

4. 研究成果

(1)茎数の増加および減少に関わる光の影響

本研究で用いた遮光シートの光透過率は、光量子密度、赤色光 (R)、遠赤色光 (FR) のいずれも約35%であり、遮光による光質への影響は認められなかった。遮光シートや補光装置により得られた光環境を表1に示した(2011年)。補光装置はおおよそ $23 \sim 36 \mu \text{ mol/m}^2/\text{s}$ の赤色光を水稻の基部に照射することができ、下補光区の R/FR 比は無処理区よりも明らかに高くなり、群落上部の値(1.2)よりも著しく大きくなった。また曇天日における下補光区の光量子密度は無処理区に近い値となった。

表1. 最高分げつ以降の日中の群落基部光環境。

	光量子密度 $\mu \text{ mol/m}^2/\text{s}$	赤色光 $\mu \text{ mol/m}^2/\text{s}$	R/FR
曇天日			
無処理	49.8 a	4.5 b	0.7 c
下遮光	11.2 c	0.7 c	0.6 c
下補光	31.6 b	23.8 a	11.9 b
上遮光	7.6 c	0.2 c	0.2 c
遮+補光	43.8 ab	26.3 a	22.9 a
晴天日			
無処理	470.8 a	59.8 a	1.5 bc
下遮光	31.3 b	4.0 b	0.8 bc
下補光	82.0 b	31.3 ab	5.6 b
上遮光	13.8 b	1.0 b	0.4 c
遮+補光	74.5 b	37.5 ab	17.5 a

群落上のPARはおおよそ曇天日で450、晴天日で $1800 \mu \text{ mol/m}^2/\text{s}$ 。

光処理後において、葉色の濃さを示す SPAD 値は、上遮光区ではいずれの時期でも他の処理に比べ有意に高くなった (図 2)。また遮光を行った区では、光合成量の低下により地上部乾物重が小さくなった。

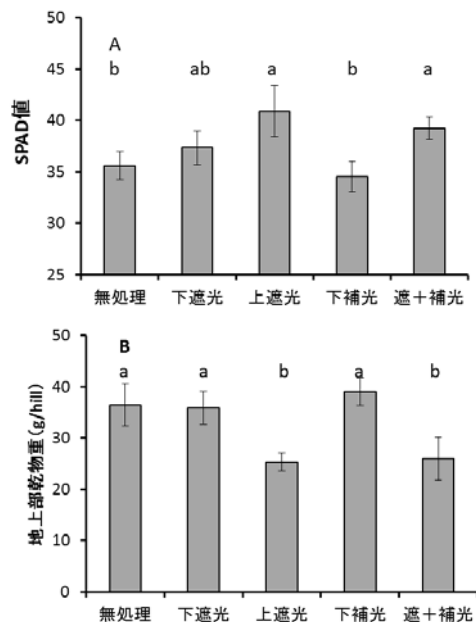


図 2. 2012 年の光処理後における SPAD 値 (A) と地上部乾物重の処理間差 (B)。

光処理期間が 2 週間であった 2011 年では、最高分げつ期前・後いずれの時期の処理でも、光処理前後における茎数変化率に有意な差異はみとめられなかった (表 2)。このことから、茎数の増減が緩やかとなる最高分げつ期前後では、本試験のように群落基部への光透過量や R/FR 値が極端に異なる条件においても、茎数の変化に与える光環境の影響は大きくないものと推察された。一方で、最高分げつ期以降に 56 日間の長期にわたり光処理を行った 2012 年では、処理前後の茎数変化率に明瞭な差がみられ、上遮光区は無処理区に比べ茎数の減少量が大きかった。これにより、最高分げつ期以降の分げつの有効化には、光合成による炭水化物供給が重要であることが示唆された。

表 2. 光処理前後の茎数変化率。

	2011 ①	2011 ②	2012
無処理	1.05	0.93	0.75 a
下遮光	1.01	0.98	0.72 ab
上遮光	1.01	0.89	0.63 b
下補光	1.00	0.91	0.67 ab
遮+補光	1.02 ns	0.96 ns	-

2011①は最高分げつ期前 2 週間、②は最高分げつ期後 2 週間の処理。

(2) 分げつ発生と減少に及ぼす窒素吸収の影響

2012 年に新潟県上越市で行った施肥試験において、土壌溶液中のアンモニア態 N ($\text{NH}_4\text{-N}$) 濃度の推移を調査した。無処理区の $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度は、移植後 33 日目まで初期 N 放出量が小さい LP140 区よりも約 1ppm 高く推移したが、その後差がなくなり、47 日後にはいずれの区でも土壌溶液中 $\text{NH}_4\text{-N}$ はほぼ消失した (図 3)。また追肥区においても同様の調査を行ったが、試験を行った土壌は重粘土で窒素の地下浸透が少ないため、既報のように地下浸透による土壌 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度の変化は検出されなかった。

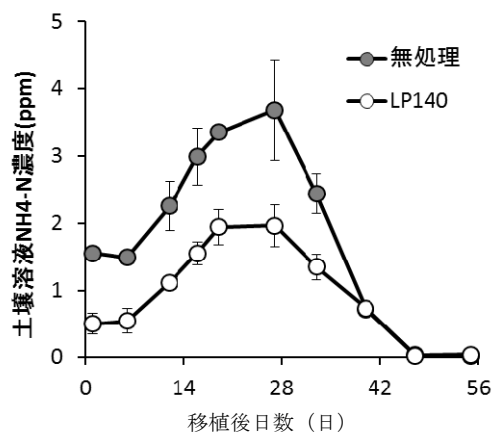


図 3. 施肥試験における土壌アンモニア態 N 濃度の推移。測定点は 4 株の中央。

移植後より土壌溶液中 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度が高い無処理区と追肥区では、LP140 区よりも分げつ発生が早く始まり最高分げつ数も多くなった (図 4)。しかし、最高分げつ期は両区で同時期 (移植 47 日後) に現れ、土壌溶液中の $\text{NH}_4\text{-N}$ が消失する時期とほぼ一致してしていた。

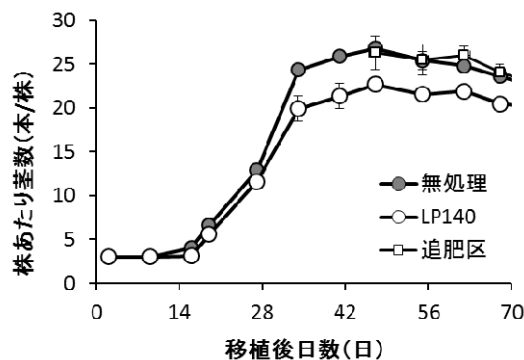


図 4. 各処理区の茎数の推移。

つくばみらい市で行った作期移動試験から得られた土壌アンモニア態 N 濃度の推移を図 5 に示した。作期によって 1 週間前後の差

異が観察されたものの、最高分けつ期と土壌 NH₄-N の消失時期はおおよそ一致することが確認された (データ略)。土壌 NH₄-N の消失時期と水稻の最高分けつ期がおおよそ一致することについては、以前より栽培管理の指針になるとして指摘されてきたが (e. g. 安藤ら 1978; 鳥山 1990)、本課題の結果においても、NH₄-N 濃度が最高分けつ期の重要な支配要因であることが示唆された。

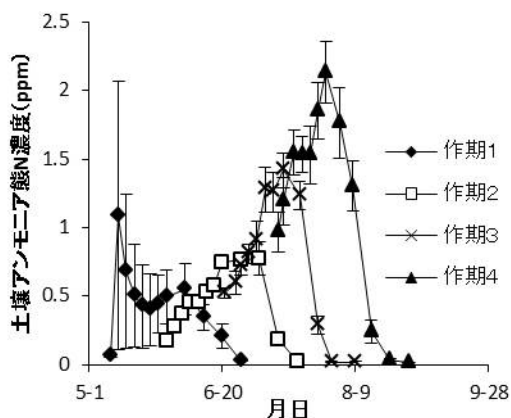


図5. 作期試験における土壌アンモニア態 N 濃度の推移。測定点は4株の中央。

2012年に新潟県上越市で行った施肥試験において、追肥区では処理16日後に乾物重の増加は確認されなかったが、窒素吸収量が有意に増加し、葉身N濃度も高まった(表3)。またLP140区は無処理区のイネに比べ最高分けつ期16日後(出穂2週間前)の地上部乾物重が小さく、窒素吸収量も小さい傾向があった。

表3. 最高分けつ期16日後の生育特性

	地上部重 g/m ²	葉身N濃度 %	窒素吸収量 g/m ²
無処理	540 a	2.4 b	7.7 b
LP140	446 b	2.4 b	6.5 b
追肥	521 a	2.9 a	10.3 a

一方で最高分けつ期に多量の追肥を行った追肥区では、明瞭な分けつ発生量の増加は観察されなかった(図4)。最高分けつ期以降の16日間で無処理区とLP140区ではほとんどN吸収量は増加しなかったが、追肥区では2.2g/m²の窒素吸収がなされており、窒素吸収は分けつ発生に必要なものが、分けつの有効化に十分でないことが明らかとなった。

同じく施肥試験において、最終的な全穂数は、無処理区と追肥区で同程度であったが、このうち後発分けつが有効化した小穂の数は追肥区で若干高まった(表4)。追肥区では葉身窒素濃度が高まり、乾物生産量が増加した結果、分けつへの炭水化物供給がいくらか増加したことが関与していると推察された。

表4. 異なる施肥条件での穂数と有効茎歩合

	全穂数 本/株	小穂数 本/株	有効茎歩合 ratio
無処理	19.2 a	0.6 b	0.75
LP140	16.8 b	0.2 b	0.75
追肥	20.5 a	1.3 a	0.79 ns

(3) 穂数予測モデルの開発

以上の結果から、水稻穂数決定過程のモデル化には、遮蔽による群落基部の光質の変化よりも、稲体要因と日射量によって変異する同化産物供給速度の説明・予測が重要であることが示唆された。一方、最高分けつ期を決定する土壌アンモニア態N濃度は、施肥・土壌N発現速度に加え、根系の発達速度・植物体N吸収速度に支配される。旺盛な生長は、土壌アンモニア態Nの早期の消失にもつながり得るため、最高分けつ期を踏まえた水稻穂数予測モデルの開発には、地上部の生長と、根系の発達・N吸収速度のバランスを説明可能な水稻モデルが不可欠であることが示唆された。

これまでに開発した水稻モデル (Yoshida and Horie 2010) は、水平方向の根系の発達速度が葉面積指数 (LAI) に比例すると仮定し、根系の発達を地上部の生長に関連付けている。図3、5に示した土壌アンモニア態N濃度の前半の増加と後半の急速な低下は、土壌アンモニア態N濃度が最大値に達する頃に根系が水平方向に十分に発達し、以降の急速なN吸収により土壌Nが低下することを示すものであり、最高分けつ期の不明瞭だった作期1を除き、そのときのLAIは平均で約0.4であった。本課題から得た、茎数、バイオマス、葉面積展開、窒素吸収速度等の地上部の生長動態と、土壌アンモニア態N濃度の推移の関係についてのデータを元に、根系の発達速度についてのモデルの改良を進め、水稻穂数決定過程の統一的な説明・予測モデルの開発を行っている。

5. 主な発表論文等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

吉田 ひろえ (YOSHIDA HIROE)
独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構・中央農業総合研究センター情報利用研究領域・研究員
研究者番号：90546920

(2) 研究分担者

大角 壮弘 (OHSUMI AKIHIRO)
独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構・中央農業総合研究センター水田利用研究領域・研究員
研究者番号：80455310