

平成30年9月3日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2014～2017

課題番号：26292013

研究課題名(和文) イネ直立穂形質が群落生産機能に及ぼす影響の解明

研究課題名(英文) The effect of the erect-panicle phenotype on crop productivity in rice

研究代表者

白岩 立彦 (Shiraiwa, Tatsuhiko)

京都大学・農学研究科・教授

研究者番号：30154363

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,000,000円

研究成果の概要(和文)：成熟期において穂が下垂せず直立する形質(直立穂形質)を持つ品種が、中国東北部において多収品種として普及しているが、その多収機構は明らかでない。直立穂形質が群落機能に及ぼす効果を明らかにするために、(1)直立穂品種潘農265号の群落機能と収量形成過程、(2)非直立穂日印交雑インディカ型品種Wonlung(インディカ多収系の草型)と直立穂品種遼粳5号の交雑由来RILsを用いた遺伝子型効果、(3)直立穂形質と他形質との組合せ効果、および(4)直立穂遺伝子型と遺伝的背景ならびに窒素施肥量との交互作用を解析し、直立穂が群落内光環境と物質生産に及ぼす効果、および同形質を導入利用するための条件を提示した。

研究成果の概要(英文)：The erect panicle trait, with which panicle keeps upright stature till maturity, is widely seen in the recent commercial varieties in Northeast China and it is reputed for contribution to high productivity. But crop-physiological mechanism of high yield is not clear. This study was conducted in order to identify the effect of the erect panicle trait on canopy function in rice to produce biomass and grain. (1) Biomass productivity and yield formation in an erect panicle variety "Shennon 265", (2) the effect of DEP1 genotype on plant traits such as plant height and leaf length, (3) the combined effect of the erect panicle and other plant traits on canopy function and grain yield, (3) the interaction of DEP1 genotype, genetic background and nitrogen fertilizer application, were analyzed. Based on the results, the positive effect of erect panicle on light environment and matter production was clarified and the requisition for utilizing this trait, like high solar radiation, was suggested.

研究分野：作物学

キーワード：イネ 収量 草型 直立穂 群落機能

1. 研究開始当初の背景

ジャポニカ水稻では、戦後の約 20 年間に於ける短稈・耐肥性品種の育成以降の収量性の改良は停滞しており、インディカ水稻の多収性品種に匹敵するものはほぼ皆無であるのに対し、中国遼寧省の瀋陽農業大学で育成されてきた一連の“直立穂型品種”(以下 EP 品種)は顕著な多収性を示すとされ、急速に栽培面積を拡大した。しかし、EP 品種は下記のように理想的とされるインディカ多収品種とは明らかに異なる草型特性を持っている。インディカ多収品種では、固定品種と中国の F1 品種の両方を通じて、長く直立した上位葉と長く大きな穂を有するのに対して EP 品種では、穂が短く直立する独特の特性を持ち、着粒密度が著しく高く、上位葉もまた短く直立している。このような特性が生産生態上のどのような機構により多収をもたらしているか、明らかにされていない。

2. 研究の目的

直立穂型品種と従来型多収品種との交雑分離集団を用いて、直立穂が群落光環境および物質生産能に及ぼす影響ならびに直立穂形質と窒素施肥および地域との交互作用の解析から、本形質が群落生産機能に及ぼす影響を明らかにしようとした。

3. 研究の方法

(1) 直立穂品種の群落機能と収量性

京都大学農学研究科附属京都農場において、代表的な直立穂品種瀋農 265 を日本のジャポニカ品種日本晴、および同インディカ品種タカナリとともに、窒素施肥量と栽植密度が異なるのべ 3 種類の条件で圃場栽培し、乾物生産能ならびに収量を比較した。また群落特性として、キャノピーアナライザーを用いた LAI 非破壊測定の実用により、葉層別葉面積の垂直分布を解析した。

(2) 直立穂遺伝子型の多面発現

直立穂品種は、直立穂遺伝子の効果によりインディカ多収系の草型を有する中国産日印交雑品種 Wanlun422 と直立穂品種遼粳 5 号との交雑由来組替え自殖系統群を栽培し、直立穂遺伝子座 (*DEP1*) 遺伝子型による草型関連形質の違いを解析し、同遺伝子由来の“直立穂形質”を明確にしようとした。

(3) 収量に対する直立穂形質×環境相互作用

直立穂品種と非直立穂品種の収量性は、栽培環境によって異なるかも知れない。この点を明らかにするために、直立穂形質に関する準同質系統群、非直立穂型品種あきたこまち、同品種直立穂型、直立穂型品種遼粳 5 号、同品種非直立穂型の 4 系統を、窒素施肥 3 水準 (0, 5, 20 gN/m²) で栽培し、乾物生産特性ならびに収量関連形質を解析した。

4. 研究成果

(1) 直立穂品種の群落機能と収量性

瀋農 265 の平均収量は 6.9 t ha⁻¹ であり、タカナリのそれには及ばないものの日本晴よりも高い収量性を示した。乾物生産力指標である日射利用効率(RUE)は、これまでインディカ多収系であるタカナリで顕著に高いことが知られている。瀋農 265 の RUE は日本晴よりも高く、いくつかの試験ではタカナリと同等の値を示した (図 1)。瀋農 265 の葉身窒素含量は他の 2 品種に比べて高く、このことが高い RUE に関連していると推察された。これらの結果より、瀋農 265 は高い潜在収量生産力を有するものと考えられた。しかし、育成および普及が行われている中国東北部に比べて日本の京都市で行った圃場実験における栽培環境は同品種に多収栽培にとっては最適とはいえないことが示唆された。群落の乾物生産における葉面積、葉身窒素濃度、受光量、RUE の量的関係の解析結果から、瀋農 265 は、葉面積展開速度は日本晴・タカナリよりも小さく、そのために高い窒素濃度を示す傾向があること、これにより同品種は、とくに出穂後の窒素供給量を高めた条件で、かつより長い生育期間を確保することにより、多収性を示す可能性があることと推察された。

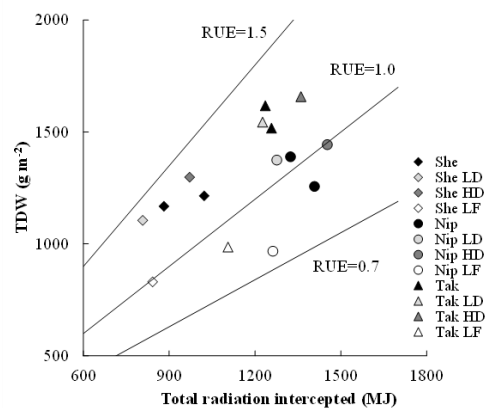


図1 群落の積算受光量と地上部全乾物重との関係(Hirookaら2017)

She:瀋農265、Nip:日本晴、Tak:タカナリ、NF:慣行窒素施肥、LF:低窒素施肥、LD:疎植、ND:慣行栽植密度、HD:密植

群落内の葉面積垂直分布は、群落光合成ならびに乾物生産力を予測・評価する上で重要な情報となる。しかしその測定はきわめて多労であり、これまで多数の群落を対象とする測定や、時間的推移の解析は困難とされていた。群落内葉面積分布の新しい非破壊計測手法として、LAI2200 キャノピーアナライザーを用いる方法を考案した。瀋農 265 を含む 5 品種を窒素施肥量と栽植密度が異なる条件で栽培した。層別 LAI をキャノピーアナライザーで非破壊計測したところ、求められた葉面積垂直分布様式は、慣行の層別刈取法による評価結果とよく一致した。これによっても求められた葉面積垂直分布様式の経時変化は、瀋農 265 の葉面積分布は、葉面積が上層に集中する他の品種に比べて、垂直方向に均

一に分布する傾向があること、および中下層の葉面積が長く維持されること、を示した。これらの特性は、同品種の出穂後の乾物生産量が高いことの1要因になっていることが示唆された。

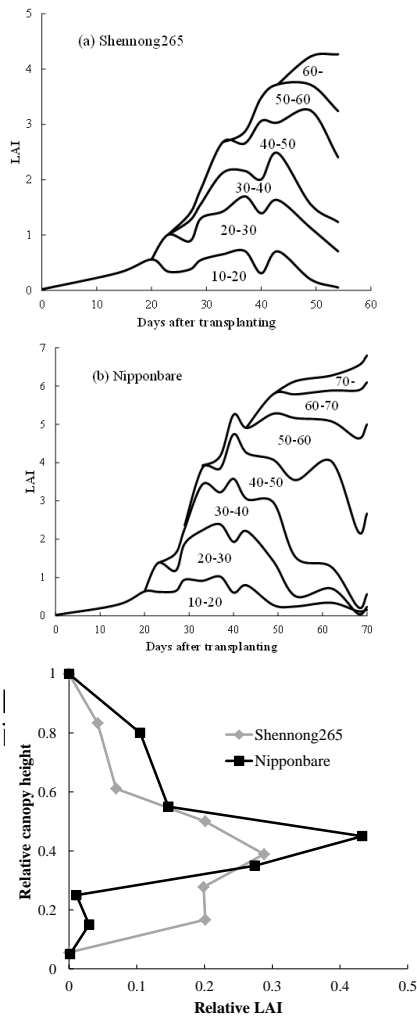


図3 相対LAIの垂直分布における品種間差異

非直立穂品種である日本晴では群落の上層および中層の葉面積が大きいのに比べて、直立穂品種瀋農265では、葉面積の垂直分布が均一化される傾向が強い。

(2) 直立穂遺伝子型の多面発現

直立穂品種遼粳5号とインディカ多収系の草型を有する Wanlun422 の交雑由来 RILs の草型および収量関連形質を調査したところ、多くの形質が *DEP1* 座遺伝子型 (直立穂型) により影響を受けていた。すなわち、直立穂型系統は、穂が短く直立的であることに加えて、稈長および草丈が短く、止葉が短く、1穂穎花数が多い傾向があった。形質間相関を解析したところ、直立穂型系統の中では収穫指数と草丈との間に相関がみられず、このことは窒素施肥量と栽植密度を変えても同様であった。このことから、直立穂形質の導入は、収穫指数を維持しながら、収量キャパシティの向上と乾物生産を高める可能性があることが示唆された。

表1 遼粳5号×Wanlun422交雑由来RILsにおける草型形質と収量関連形質の相関関係

PN:穂数, GNPP:1穂穎数, SSR:登熟歩合, TGW:千粒重, HI:収穫指数, PH:草丈, FLL:止葉長, PL:穂長, SD:着粒密度, HD:出穂期

	Yield	PN	GNPP	SSR	TGW	HI	PH	FLL	PL	SD	HD
Yield		0.611**	0.142*	-0.390**	0.443**	0.644**	0.659**	0.102	0.023	-0.012	0.357**
PN	0.809**		-0.378**	-0.723**	-0.380**	0.563**	-0.151*	-0.163**	-0.372**	-0.158**	-0.327**
GNPP	-0.160	-0.539**		0.236*	-0.395**	0.069	0.172**	0.255**	0.140*	0.386**	0.796**
SSR	-0.614**	-0.805**	0.238*		-0.445**	-0.276**	-0.223**	0.344**	0.011	0.444**	-0.031
TGW	0.586**	0.661**	-0.580**	-0.467**		0.304**	0.318**	-0.166**	-0.028	-0.235**	-0.265**
HI	0.842**	0.776**	-0.281*	-0.614**	0.541**		-0.135**	0.270**	-0.096	0.013	-0.039
PH	0.577**	0.276*	0.189	-0.171	0.322**	0.066		0.094	-0.037	0.282**	0.064
FLL	0.437**	0.356**	0.003	-0.316**	0.313**	0.481**	0.112		0.153**	0.585**	-0.166**
PL	0.219	0.114	0.140	-0.036	0.228	0.144	0.222	0.309**		0.200**	-0.076
SD	0.029	-0.241*	0.228*	0.304*	0.042	-0.147	0.303*	0.164	0.490**		-0.236**
HD	-0.136	-0.435**	0.941**	0.112	-0.586**	-0.237*	0.142	-0.003	-0.011	-0.092	
	-0.194	-0.335**	0.205*	0.473**	-0.229	-0.178	-0.021	-0.175	0.003	0.110	0.202

Upper triangular matrix data for nonEp type lines * 0.11706 ** 0.15105

Lower triangular matrix data for Ep type lines * 0.23691 ** 0.30814

(3) 収量に対する直立穂形質×環境交互作用

収量構成要素、乾物生産力およびそれらにおける窒素利用効率に及ぼす、遺伝子型 (直立穂、EP型 vs 非直立穂、NEP型)、遺伝的背景 (遼粳5号 vs あきたこまち)、窒素施肥量 (0、6、20gNm⁻²)、および年次の効果を解析した。

生育期間は2016年よりも2017年の方が長くなった。

子実収量はあきたこまち背景においてEP型がNEP型よりも高い傾向がみられたが、その差異は2016年のみ有意であった。そして、遺伝子型×窒素交互作用が存在し、EP型の優位性は、既往の結果と異なり、無窒素区でもっとも顕著だった。EP型の農業形質に及ぼす窒素施肥の影響については、異なる環境と遺伝的背景における検討がなお必要と推察される。EP型は、単位面積当たり穎数が有意に高いが、登熟歩合は不安定であった。乾物背生産性の年次間差異および出穂期前後における日射量の推移を検討した結果から、EP型の登熟歩合の低下は、日射量が不足する場合に起こることが示唆された。窒素の吸収効率は、2017年においてあきたこまち背景のEP型が同NEP型に比べて優れていた。しかし、このことを除くと、窒素利用効率に及ぼす遺伝子型の影響は明らかでなかった (図2、図3)。遼粳5号背景における遺伝子型の効果は全体に小さかった。これは、EP遺伝子型が草型形質に及ぼす効果 (短稈化、穂および止葉の短小化) があきたこまち背景の方が遼粳5号背景に比べてより顕著であるためと推察された。以上より、EP遺伝子型の効果は、遺伝的背景により異なることが示唆された。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計3件)

1. Tang L., Hong G., Hirooka Y., Homma K., Nakazaki T., Liu T., Shiraiwa T., Xu Z., Erect panicle super rice varieties enhance yield by harvest index advantages in high nitrogen and density conditions. Journal of Integrative Agriculture 16: 1467-1473 (2017).
2. Yoshihiro Hirooka, Koki Homma, Tatsuhiko Shiraiwa, Yuki Makino,

Tiansheng, Liu, Zhengjin Xu & Liang Tang
Yield and growth characteristics of erect
panicle type rice

(*Oryza sativa* L.) cultivar, Shennong265
under various crop management practices in
Western Japan, Plant Production Science,
21: 1-7 (2018).

3. Hirooka, Y., Homma, K., Shiraiwa, T.
Parameterization of the vertical
distribution of leaf area index (LAI) in
rice (*Oryza sativa* L.) using a plant canopy
analyzer. Scientific Reports 8:6387
(2018).

[学会発表] (計 12 件)

1. 廣岡義博, 本間香貴, 白岩立彦, 徐正進, 唐亮. イネ直立穂品種の京都における収量および施肥反応性. 日本作物学会第 238 回講演会 (2014).

2. 廣岡義博, 本間香貴, 白岩立彦. イネにおける葉群の垂直分布の経時的モニタリング. 日本作物学会第 237 回講演会 (2014).

3. 廣岡義博, 本間香貴, 白岩立彦, 徐正進, 唐亮. イネ直立穂品種の京都における収量および施肥反応性. 日本作物学会第 238 回講演会 (2014).

4. Hirooka, Y., Homma, K., Shiraiwa, T., Xu, Z., Tang L. Analysis of characteristic of canopy structure in erect panicle type of rice. 4th International Rice Congress. 2014 年 11 月.

5. 劉天生, 徐正進, 唐亮, 本間香貴, 白岩立彦. インディカ×ジャポニカ交雑による直立穂型・非直立穂型系統群の群落構造特性と収量構成要素. 日本作物学会第 240 回講演会 (2015).

6. 廣岡義博, 本間香貴, 白岩立彦, 徐正進, 唐亮. 栽植密度がイネ直立穂品種の収量・生育特性に与える効果. 日本作物学会第 239 回講演会 (2015).

7. 牧野裕樹, 本間香貴, 白岩立彦, 徐正進, 唐亮. 直立穂品種 LG5 と非直立穂品種 WL422 の交雑後代系統の群落構造. 日本作物学会第 239 回講演会 (2015).

8. 廣岡義博, 本間香貴, 白岩立彦, Xu Zhengjin, Tang Liang. イネ直立穂品種「瀧農 265」における群落構造の定量化. 日本作物学会第 241 回講演会 (2015).

9. Hirooka, Y., Homma, K., Shiraiwa, T.. Development of a method for evaluating vertical leaf area distribution in rice. ASA, CSSA, SSSA International Annual

Meeting, Minneapolis, MN, USA. 2015 年 11 月.

10. Makino, Y., Homma, K., Shiraiwa, T., Liu, T., Kondo, R., Nakazaki, T., Tang, L., Xu, Z. The effects of erect panicle genotype on plant canopy structure with pleiotropic effects on leaf characteristics. 7th International Crop Science Congress, Beijing, China. 2016 年 8 月.

11. 牧野裕樹, 近藤琳太郎, 本間香貴, 白岩立彦, 劉天生, 徐正進, 唐亮, 中崎鉄也. イネ直立穂×非直立穂品種 RILs における登熟支配要因の解析. 日本作物学会第 242 回講演会 (2016).

12. Olusegun Idowu, Wang Yuanzheng, 牧野裕樹, 本間香貴, Xu Zhengjin, 白岩立彦. 直立穂に関するイネ準同質遺伝子系統 2 組合せの窒素施肥に対する生育・収量応答. 日本作物学会第 243 回講演会 (2016).

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
国内外の別:

○取得状況 (計 0 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
取得年月日:
国内外の別:

[その他]
ホームページ等

6. 研究組織
(1) 研究代表者
白岩立彦 (SHIRAIWA, Tatsuhiko)
京都大学・農学研究科・教授
研究者番号: 30154363

(2) 研究分担者
本間香貴 (HOMMA, Koki)
東北大学・農学研究科・教授

研究者番号：60397560

(3)研究分担者

中崎鉄也 (NAKAZAKI, Tetsuya)

京都大学・農学研究科・教授

研究者番号：60217693

(3)研究協力者

徐正進 (XU Zhengjin)

瀋陽農業大学・水稻研究所・教授

(4)研究協力者

唐亮 (TANG Liang)

瀋陽農業大学・水稻研究所・教授