

# 不同施肥处理下北方杂交粳稻干物质积累转移特性及其与产量关系

房 闵 史文华 姜艺晖 刘晓琳 刘安晋 王 鑫 苗 微\*

(沈阳农业大学水稻研究所, 教育部和辽宁省北方粳稻遗传育种重点实验室, 农业部东北水稻生物学与遗传育种重点实验室, 沈阳 110866)

**摘 要** 为了探究北方杂交粳稻具有生物量大、抗逆性强而产量优势不突出的原因, 以 140 份恢复系材料与不育系辽 99A 杂交组配而成的 140 个杂交粳稻组合为试材, 通过田间小区对比试验, 设置正常肥力 (施加底肥、蘖肥和孕穗肥) 和低肥 (仅施加底肥) 两种施肥量处理, 对杂交粳稻在不同施肥处理条件下干物质积累转移的特性及其与产量关系进行了研究。结果表明: 结实率低、千粒重小是制约杂交粳稻产量优势发挥的主要限制因素; 杂交粳稻产量更依赖齐穗期后干物质的生产; 低肥条件下杂交粳稻茎和鞘部干物质输出率增加, 而叶片干物质输出率减少。降低茎部积累干物质的输出率、增加叶片干物质输出率的相差值, 有利于降低不同肥力条件下产量的差值, 提高杂交粳稻的耐低肥特性优势, 为杂交粳稻抗逆性选择育种提供依据。

**关键词** 杂交粳稻; 施肥; 产量; 干物质生产; 干物质转移

**Dry matter accumulation, transportation and their relationships with yield of japonica hybrid rice in northern China under different fertilization conditions.** FANG Min, SHI Wen-hua, JIANG Yi-hui, LIU Xiao-lin, LIU An-jin, WANG Xin, MIAO Wei\* (*Rice Research Institute, Shenyang Agricultural University/Key Laboratory of Northern Japonica Rice Genetics and Breeding, Ministry of Education and Liaoning Province/Key Laboratory of Northeast Rice Biology and Genetics and Breeding, Ministry of Agriculture, Shenyang 110866, China*).

**Abstract:** To explore the reasons for the large biomass and strong stress resistance but no outstanding yield advantage of japonica hybrid rice, 140 hybrid combinations of japonica hybrid rice, which were cross-fertilized from 140 restorer lines and BT-type cytoplasmic male sterility (BT-CMS) line Liao-99A, were used to examine dry matter accumulation, transportation and their relationships with yield under two fertilization treatments: normal fertilization (including basic fertilizer, tillering fertilizer and spike fertilizer) and low fertilization (including basic fertilizer only). The results showed that lower seed setting rate and 1000-grain weight were the most important factors limiting the yield advantage of japonica hybrid rice. The yield of japonica hybrid rice was more dependent on dry matter accumulation after full heading stage. Under the low fertilization treatment, dry matter export percentage from stem and sheath increased and that from leaf decreased. Reducing the export percentage of dry matter accumulation in stem and increasing that in leaf were beneficial to decrease the yield discrepancy under different fertilizer treatments and promote the superiority of japonica hybrid rice in tolerating low-fertility. Our results could provide important insights in the selection of resistance breeding of japonica hybrid rice.

**Key words:** hybrid japonica rice; fertilization; yield; dry matter accumulation; dry matter transportation.

稻米是世界上一半以上人口的主食,随着世界人口逐年增长和耕地面积逐年减少,经济社会的快速发展对各种资源的消费越来越大。据统计,到2030年世界水稻总产量需较目前增加60%才能满足基本需求,而中国则须在现有水平上提高20%才能满足需求(Peng *et al.*,2009;赵凌等,2015)。国内外农业发展的实践经验表明,施用化肥是最重要的、最有效效果的增产途径之一(董春华等,2014;汪航等,2015)。如何在增产和减少化肥使用之间寻求一个平衡,既达到增产增效又减少化肥施用量,通过降低环境的污染来实现可持续农业发展,为水稻增产途径提供了新方向,受到越来越多行业专家的关注(雷敏等,2012;龚金龙等,2013;闫湘等,2017)。因此,倡导合理施肥,提高化肥利用率,减少化肥的使用量和负面效应意义深远(李红莉等,2010)。有研究表明,施用氮肥和磷肥对提高水稻产量、改善土壤地力有明显的促进作用(高菊生等,2014;鲁艳红等,2015),通过控制不同氮肥、磷肥等不同肥料的比例和浓度,对改善水稻产量有明显影响(杜加银等,2013;王忠等,2017)。同时,水稻植株各部位干物质积累量又是形成产量的物质基础(陈丽楠等,2010)。生物产量的提高有利于经济产量的提高,因此如何兼顾水稻施肥量及干物质积累转移量来提高水稻产量是当前研究的一个难点(Peng *et al.*,2002,2006;张文锋等,2016)。

近年来杂交水稻生产发展迅速,但杂交粳稻生产发展相对缓慢,其中产量优势不突出一直是主要限制因素,有专家学者认为如果全国杂交粳稻的种植面积由3%提升到30%,可年增加稻谷产量 $3.0\times 10^9$  kg(史开兵等,2004;邓华凤,2008)。杂交粳稻具有耐低肥、生物产量大等杂种优势(华泽田等,2007;张宏根等,2010),但产量优势得不到显著提高,说明杂交粳稻抗性优势及干物质积累转移方面存在一定问题,有待进一步研究。目前关于杂交水稻肥力对干物质积累转移的影响已有一些研究(吴文革等,2007;袁颖红等,2009;唐海明等,2018)。本文以140份产量差异显著的北方杂交粳稻组合为试验材料,以不同的施肥处理对干物质积累转移的影响进行了研究分析,以期对北方杂交粳稻育种提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

本试验以杂交粳稻骨干恢复系 C418 为基础试

材。连续多年自交构建了对 BT 型不育系具有恢复能力的 140 份恢复系材料,以之为父本,与异交习性好、配合力强、农艺性状好的不育系辽 99A 为母本分别进行杂交组配,制得 140 份杂交粳稻组合为试材。

1.2 试验方法

试验于 2015—2016 年在沈阳农业大学水稻研究所试验田进行,试验地土质沙壤,地势平坦,肥力中等,井水灌溉。设置正常施肥与低肥两个处理。以尿素、硫酸钾、磷酸二胺作为底肥施用(表 1),不同肥力处理 3 次重复。各家系种植 3 行,每行 12 株,株行距 13.3 cm×30.0 cm,3 次重复。每穴 1 苗,4 月 15 日播种,5 月 26 日插秧,10 月 10 日收获。统一管理,其他各时期水分及肥料管理同大田一致。

调查不同施肥处理条件各杂交组合齐穗期,做好记录。在齐穗期选取有代表性的 3 穴将所有植株分为叶、茎、鞘、穗四部分,分别烘干后称重,测叶干物重 I、鞘干物重 I、茎秆干物重 I 和穗干物重 I。在成熟期,测量株高和有效分蘖,从每个小区中部,选取有代表性的 3 穴,烘干后将所有植株分为叶、茎、鞘和穗四部分,分别称重,测叶干物重 II、鞘干物重 II、茎秆干物重 II 和穗干物重 II。测量产量与生物产量(房闵等,2012)。

1.3 肥料及水平

设置正常施肥(底肥:尿素 15.00 g·m<sup>-2</sup>;硫酸钾 15.00 g·m<sup>-2</sup>;磷酸二铵 15.00 g·m<sup>-2</sup>;蘖肥:尿素 11.25 g·m<sup>-2</sup>;硫酸钾 3.75 g·m<sup>-2</sup>;孕穗肥:尿素 7.50 g·m<sup>-2</sup>;磷酸二铵 3.00 g·m<sup>-2</sup>,氯化钾 7.50 g·m<sup>-2</sup>)与低肥(只施底肥:尿素 15.00 g·m<sup>-2</sup>;硫酸钾 15.00 g·m<sup>-2</sup>;磷酸二铵 15.00 g·m<sup>-2</sup>)两个处理(表 1)。

1.4 数据处理

采用 Microsoft Excel 2013 进行数据录入,计算与作图;运用 SPSS 数据处理系统进行统计分析,数据间的多重比较采用 LSD 法,两年试验结果趋势一致,因此本文选取两年试验数据结果的平均值进行分析。

表 1 不同肥料及处理水平  
Table 1 Different fertilization treatments

处理		尿素 (g·m <sup>-2</sup> )	硫酸钾 (g·m <sup>-2</sup> )	氯化钾 (g·m <sup>-2</sup> )	磷酸二铵 (g·m <sup>-2</sup> )
低肥	底肥	15.00	15.00	—	15.00
	蘖肥	—	—	—	—
	孕穗肥	—	—	—	—
正常肥	底肥	15.00	15.00	—	15.00
	蘖肥	11.25	3.75	—	—
	孕穗肥	7.50	—	7.50	3.00

表 2 不同施肥处理条件下杂交粳稻产量及其构成性状  
Table 2 Yield and yield composition of hybrid japonica rice under different fertilization treatments

观测指标	低肥	正常肥
产量(t·hm <sup>-2</sup> )	8.72±1.76	8.39±2.22
穗数(m <sup>2</sup> )	278.90±49.35	365.53±57.70**
每穗粒数	164.00±15.10	151.00±29.93*
结实率(%)	69.74±6.07	67.57±2.81
千粒重(g)	24.65±1.38	22.37±2.22**
生物产量(t·hm <sup>-2</sup> )	16.68±2.93	17.99±3.50*
经济系数	0.50±0.07	0.47±0.05**
株高(cm)	105.64±6.93	111.49±7.24
齐穗期(d)	80.00±2.09	81.39±1.55

数值为平均值±标准差。\* 和 \*\* 分别表示达到 0.05 和 0.01 水平上差异显著。下同。

运转量(t·hm<sup>-2</sup>)=成熟期干物质重-齐穗期干物质重  
茎鞘干物质输出率(%)=(齐穗期茎鞘干重-成熟期茎鞘干重)×100/齐穗期茎鞘干重  
经济系数=经济产量/生物产量×100%

2 结果与分析

2.1 不同施肥处理条件下杂交粳稻各农艺性状特点

2.1.1 产量及其构成因素 对不同施肥处理条件下杂交粳稻产量及其构成和主要农艺性状进行分析(表 2),结果表明,正常肥处理下平均产量为 8.39 t·hm<sup>-2</sup>,低于低肥处理的平均产量 8.72 t·hm<sup>-2</sup>,高于近年来辽宁省水稻的平均产量 7.76 t·hm<sup>-2</sup>,且两种肥力条件下的产量均有较高的标准差,说明不同施肥处理下各杂交粳稻组合产量差异较大。产量构成方面,正常肥力条件下杂交粳稻组合的平均穗数每平方米为 366 个,低肥条件下平均穗数每平方米为 279 个。不同肥力条件每穗粒数相差 13 粒,大部分杂交粳稻组合属于大穗型品种。正常肥和低肥处理下的结实率分别为 69.74% 与 67.57%,结实率

相对偏低;千粒重分别为 22.37 和 24.65 g,生物产量分别为 17.99 和 16.68 t·hm<sup>-2</sup>,正常肥力比低肥处理高出 7.28%。正常肥和低肥处理条件下杂交组合的经济系数平均值分别为 0.47 和 0.50,正常肥力较低肥条件下低 6%,以上数据显示说明,北方杂交粳稻具有大穗优势,但千粒重、经济系数偏低是制约产量优势发挥的主要因素。不同施肥处理条件下杂交粳稻组合的株高多数集中在 108 cm,较常规粳稻高 1~5 cm。齐穗期天数大多集中在 80 d,属于中熟或中晚熟品种。总体来看,本试验选用的杂交粳稻材料的各项主要农艺性状与目前生产上应用的北方主栽杂交粳稻品种相近,基本上能够反映北方杂交粳稻的实际生产情况,各组合农艺性状的变异系数较大且差异显著。因此,本试验所用的杂交粳稻是研究不同施肥处理条件下干物质积累转移与产量性状关系的良好材料。

2.1.2 干物质积累转移性状 齐穗期是杂交粳稻干物质生产的重要时期,不同施肥处理条件下杂交粳稻各组织在齐穗期和成熟期的干物质统计结果表明(表 3),齐穗期杂交组合不同施肥处理的穗和叶的干物重相近,但小于茎秆和鞘的干物重。成熟期正常肥力处理下除茎的干物重有减少外,其他各组织的干物重均增加,尤其是穗和叶片干物质增加量达到了显著或极显著水平。低肥处理下,除叶片干物重有减少外,其他各组织的干物重均增加,尤其是穗和鞘干物质增加量达到了显著或极显著水平。不同施肥处理条件下成熟期穗干物重均接近整株干物重的一半左右,即经济系数均约占 50%。茎、叶片、鞘干物质增加量的标准差是其平均数的数倍,说明试验所用各杂交粳稻组合干物质转移量存在很大差异,是研究干物质积累转移差异性的良好材料。同时,低肥处理条件下的茎和鞘部干物质的增加量是正常肥力处理下茎和鞘部干物质增加量的数倍,而

表 3 不同施肥处理条件下杂交粳稻齐穗期与成熟期干物质生产转移性状比较  
Table 3 Comparison of dry matter accumulation, transportation on hybrid japonica rice in heading and maturity under different fertilization treatments

处理	指标	干物重(t·hm <sup>-2</sup> )				
		穗	茎	叶	鞘	整株
正常肥	齐穗期	2.47±0.72	3.30±0.96	2.58±0.90	3.20±0.73	11.55±3.12
	成熟期	8.51±2.22	3.26±0.79	2.84±0.51	3.37±0.59	17.98±3.46
	运转量	6.04±2.08**	-0.03±0.95	0.27±0.75*	0.16±0.57	6.43±3.10**
低肥	齐穗期	2.22±0.54	2.73±0.71	2.32±0.55	2.65±0.66	9.91±2.24
	成熟期	8.48±2.04	2.93±0.69	2.30±0.50	2.99±0.65	16.70±2.89
	运转量	6.26±1.97**	0.21±0.82	-0.02±0.43	0.34±0.66*	6.79±2.59**

\* 或 \*\* 分别表示杂交粳稻各组织在成熟期与齐穗期的干物重相差值(即运转量)达到了 0.05 和 0.01 显著水平。

正常肥力叶片干物质增加量是低肥处理下叶片干物质增加量的数倍,说明低肥有利于茎和鞘干物质转移、正常肥力有利于叶片干物质的转移。

2.2 不同施肥处理条件下杂交粳稻各农艺性状差异

2.2.1 产量及其构成的差异性 不同施肥处理条件下杂交粳稻产量及其构成的差异分析表明(表2),产量及其构成因素中仅产量和结实率在不同施肥处理条件下差异未达到显著水平外,穗数、穗粒数、千粒重的差异均达到了显著水平,尤其是穗数和千粒重差异达到了极显著水平。此外,生物产量和经济系数差异也达到了显著或极显著水平。结果说明,不同的施肥处理对杂交粳稻农艺性状差异的影响显著。同时,穗数和穗粒数在不同施肥条件下标准差均较大,变异系数 15%,说明各杂交粳稻组合的穗数和穗粒数在组内之间也存在较大差异。

2.2.2 干物质输出率差异性 试验比较了不同施肥处理条件下杂交粳稻组合茎、叶、鞘、整株干物质的输出率变化情况(表4),结果表明:不同施肥处理

条件下各组织的干物质输出率存在差异,但其中仅叶片干物质输出率差异达到了极显著水平,其他均未达到显著水平。差异分析表明,低肥条件更有利于促进茎部和鞘部齐穗期积累的干物质向外输出;而正常肥力条件更有利于促进叶片齐穗期积累的干物质向外输出;不同肥力条件下整株干物质输出率相差较小,未达到差异显著水平。此外,不同施肥处理条件下的茎、叶片、鞘干物质输出率的标准差是其平均数的数倍,说明各杂交粳稻组合之间各组织干物质积累转移存在较大差异。

2.3 不同施肥处理条件下各农艺性状与干物质积累转移的相关性分析

2.3.1 不同施肥处理条件下干物质生产与产量及其构成的相关性分析 不同施肥处理条件下,杂交粳稻干物质生产与产量及其构成的相关性分析表明(表5),不同施肥条件下杂交粳稻产量、穗数、生物产量与所有干物质积累转移性状均达到了显著或极显著水平。正常肥力条件下除穗粒数、结实率与后期产生的干物质呈极显著正相关外,与其他各组织

表 4 不同施肥处理下杂交粳稻干物质输出率(%)

Table 4 Export percentage of the dry matte of hybrid japonica rice under different fertilization treatments

处理	茎输出率	叶输出率	鞘输出率	整株输出率
正常肥	-3.74±29.04	-19.23±35.63	-7.96±24.39	-62.26±42.85
低肥	-11.89±31.74	-0.73±18.27	-15.23±25.84	-71.85±33.42
两者差异	8.14	-18.50 **	7.27	9.59

\* \* 表示达到 0.01 显著水平。干物质输出率(%)=(齐穗期干物质重-成熟期干物质重)×100/齐穗期干物质重;两者差异=正常肥力农艺性状-低肥农艺性状。下同。

表 5 不同施肥处理杂交粳稻产量及产量构成与干物质生产转移相关性分析

Table 5 Correlations between yield, yield components and dry matter accumulation, transportation of hybrid japonica rice under different fertilization treatments

处理	指标	产量	穗数	穗粒数	结实率(%)	千粒重	生物产量	经济系数
正常肥	齐穗期茎重	0.57 * *	0.71 * *	0.15	0.10	-0.08	0.69 * *	0.19 *
	齐穗期叶重	0.48 * *	0.60 * *	0.16	0.01	0.01	0.62 * *	0.12
	齐穗期鞘重	0.64 * *	0.77 * *	0.17	0.09	-0.05	0.76 * *	0.23 *
	齐穗期干物重	0.60 * *	0.74 * *	0.17	0.07	-0.02	0.73 * *	0.18
	成熟期茎重	0.47 * *	0.64 * *	0.10	-0.09	0.04	0.73 * *	-0.08
	成熟期叶重	0.52 * *	0.74 * *	0.15	0.02	-0.09	0.76 * *	-0.01
	成熟期鞘重	0.61 * *	0.77 * *	0.17	0.06	-0.09	0.82 * *	0.06
	后期产生干物质	0.63 * *	0.34 * *	0.29 * *	0.27 * *	-0.03	0.56 * *	0.52 * *
低肥	齐穗期茎重	0.40 * *	0.84 * *	0.16	-0.10	-0.25 * *	0.59 * *	-0.18
	齐穗期叶重	0.30 * *	0.70 * *	0.21 *	-0.01	-0.15	0.44 * *	-0.12
	齐穗期鞘重	0.34 * *	0.77 * *	0.25 * *	-0.06	-0.25 * *	0.52 * *	-0.15
	齐穗期干物重	0.18	0.43 * *	0.23 *	0.04	-0.14	0.66 * *	-0.62 * *
	成熟期茎重	0.30 * *	0.70 * *	0.28 * *	0.04	-0.28 * *	0.74 * *	-0.53 * *
	成熟期叶重	0.37 * *	0.52 * *	0.35 * *	0.25 * *	-0.24 *	0.76 * *	-0.43 * *
	成熟期鞘重	0.68 * *	0.20 *	0.37 * *	0.26 * *	0.19	0.77 * *	0.19
	后期产生干物质	0.25 * *	0.59 * *	0.25 * *	-0.10	-0.19	0.38 * *	-0.15

\* 和 \* \* 分别表示达到 0.05 和 0.01 显著水平。下同。



表 6 不同施肥处理条件下杂交粳稻农艺性状与干物质输出率相差值的相关性分析  
Table 6 Correlations between agronomic traits and the difference ratio of the dry matter export percentage of hybrid japonica rice under different fertilization treatments

项目	不同施肥处理各性状相差值								
	产量	穗数	穗粒数	结实率	千粒重	生物产量	经济系数	株高	齐穗期
茎输出率相差值	-0.23 **	0.13	-0.33 **	-0.60 **	0.07	-0.21 *	0.73 **	-0.14	0.05
叶输出率相差值	-0.48 **	0.21 *	-0.44 **	-0.20 *	0.14	-0.52 **	0.14	0.22 *	0.46 **
鞘输出率相差值	0.18	-0.27 **	0.03	0.39 **	0.43 **	-0.01	0.38 **	-0.20 *	0.05

\* 和 \*\* 分别表示达到 0.05 和 0.01 显著水平。相差值=正常肥力农艺性状值-低肥农艺性状值。

干物质生产性状的相关系数均未达到显著水平。而在低肥处理下,穗粒数除与齐穗期茎重未达到显著外,与所有其他组织干物质生产性状均呈显著或极显著正相关。正常肥力条件下经济系数与齐穗期茎重、鞘重、后期产生的干物质呈显著或极显著正相关,说明提高齐穗期茎、鞘及后期产生干物质有利于提高经济系数。低肥条件下经济系数与成熟期茎重、叶重呈极显著负相关,说明降低成熟期茎部和叶部的干物重有利于提高经济系数。因此,不同肥力条件控制茎部齐穗期积累的干物质向外输出率均可提高杂交粳稻的经济系数。

**2.3.2 各农艺性状及干物质输出率在不同施肥处理条件下相差值的相关性分析** 不同施肥处理条件下各农艺性状的相差值与干物质输出率相差值关系显示(表 6),茎输出率相差值与产量、穗粒数、结实率及生物产量均呈显著或极显著负相关,与经济系数呈极显著正相关;叶片干物质输出率相差值与产量、穗粒数、结实率、生物产量呈显著或极显著负相关,与穗数、齐穗期天数呈显著正相关,说明不同施肥处理条件下茎部与叶片干物质输出率相差值越大,产量及生物产量之间的相差值越小。鞘部干物质输出率相差值与穗数和株高的相差值呈显著负相关;与结实率、千粒重、经济系数相差值呈极显著正相关,说明不同施肥处理条件下鞘部干物质的输出率相差比值越大,结实率、千粒重和经济系数的相差比值越大。

### 3 讨 论

#### 3.1 不同施肥处理条件杂交粳稻干物质积累及转移与产量的关系

刘建丰等(2005)认为,杂交稻齐穗期前干物质积累量大并能有效地转移到籽粒中是形成高产的关键。陈温福等(1995)和张洪松等(1995)研究认为,高产主要依赖杂交稻齐穗期前干物质积累量的显著增加。韩勇等(2008)认为,杂交粳稻齐穗期后茎鞘

干物质的转移率越大越有利于产量的形成。而本研究发现,不同施肥处理条件特别是低肥条件下,杂交粳稻产量的形成主要依赖齐穗期后干物质的生产。干物质转移方面,降低茎部齐穗期积累干物质的输出率有利于提高杂交粳稻的产量和经济系数,其原因可能是由于北方杂交粳稻株高稍高于常规稻,杂交粳稻干物质输出时,降低茎部输出率来维持自身的物质积累量有利于增加茎秆强韧程度避免倒伏,同时茎秆也是穗部与光合产物生产组织叶片连接的枢纽、干物质运输的通道,降低茎部干物质输出率能够促进有机物向穗部的高效转送和积累,这与罗盛国等(2015)的研究结果相似。

对不同肥力条件干物质输出率差异分析发现,仅叶片干物质的输出率差异达到了显著水平,且叶片干物质输出率相差值与产量、穗粒数、生物产量等性状的相差值均呈显著负相关,因此有效提高不同肥力条件叶片干物质输出率相差值有利于缩小产量的相差值。其原因可能是,由于叶片是进行光合作用形成化合物的组织,低肥条件叶片积累同化产物向外输出的同时,还要维持自身物质积累来保证光合作用持续正常的工作。如果过于强调叶片干物质的输出功能,忽略其自身干物质的生产能力反而会加快叶片的衰老,不利于齐穗期后干物质的形成。因此,低肥条件降低叶片干物质输出率,一定程度上减小了杂交粳稻产量的降低。

#### 3.2 不同施肥处理条件杂交粳稻产量及产量构成

李秀芬等(2004)和杨建昌等(2006)认为,增加每穗粒数和提高结实率是提高杂交粳稻产量的关键。李杰等(2009)认为,在保证一定穗数和结实率的基础上,提高每穗粒数是实现杂交粳稻产量的主攻方向。郑盛华等(2017)研究认为,施肥处理有利于促进水稻提早分蘖,增加水稻分蘖数,提高水稻产量。而本研究表明,相对正常肥力,低肥条件穗粒数、结实率与产量关系更为密切。因此,保证大穗、提高结实率对提高北方杂交粳稻的耐低肥特性有重

要作用。本试验材料的结实率相对较低,可能原因是穗粒数较多或试验材料的恢复系对不育系的恢复力存在差异而导致结实率偏低。

#### 4 结 论

结实率低、千粒重小是制约杂交粳稻产量优势发挥的主要限制因素。不同肥力条件下,穗粒数、结实率与产量关系最为密切。一定程度上,降低茎部齐穗期积累干物质的输出率有利于提高杂交粳稻经济系数,不同肥力条件下增加叶片干物质输出率相差值有利于提高杂交粳稻耐低肥特性。因此,提高北方杂交粳稻的穗粒数和结实率,降低茎部积累干物质的输出率,增加叶片干物质输出率相差值,有利于提高杂交粳稻耐低肥特性优势,达到减施增效的目的。

#### 参考文献

陈丽楠,彭显龙,刘元英,等. 2010. 养分管理对寒地水稻养分吸收动态及产量的影响. 东北农业大学学报, **41**(5): 52-55.

陈温福,徐正进,张龙步. 1995. 水稻超高产育种生理基础. 沈阳: 辽宁科学技术出版社: 69-94.

邓华凤. 2008. 中国杂交粳稻. 北京: 中国农业出版社: 12-13.

董春华,曾闹华,高菊生,等. 2014. 长期不同施肥模式下红壤性稻田水稻产量及有机碳含量变化特征. 中国水稻科学, **28**(2): 193-198.

杜加银,茹 美,倪吾钟. 2013. 减氮控磷稳钾施肥对水稻产量及养分积累的影响. 植物营养与肥料学报, **19**(3): 523-533.

房 闵,唐 亮,徐 海,等. 2012. 北方杂交粳稻干物质积累转移特点及其与产量的关系. 沈阳农业大学学报, **43**(6): 759-766.

高菊生,黄 晶,董春华,等. 2014. 长期有机无机肥配施对水稻产量及土壤有效养分影响. 土壤学报, **51**(2): 314-321.

龚金龙,张洪程,胡雅杰. 2013. 灌浆结实期温度对水稻产量和品质形成的影响. 生态学杂志, **32**(2): 482-491.

韩 勇,邓 媛,沈 枫,等. 2008. 辽宁省杂交粳稻产量构成及光合生理生态特性研究. 安徽农业科学, **36**(5): 1852-1855, 1925.

华泽田,郝宪彬,王彦荣,等. 2007. 超级杂交粳稻育种技术探讨. 沈阳农业大学学报, **38**(5): 744-747.

雷 敏,周 萍,黄道友,等. 2012. 长期施肥对水稻土有机碳分布及化学结合形态的影响. 生态学杂志, **31**(4): 967-974.

李 杰,张洪程,钱银飞,等. 2009. 两个杂交粳稻组合超高产生长特性的研究. 中国水稻科学, **23**(2): 179-185.

李红莉,张卫峰,张福锁,等. 2010. 中国主要粮食作物化肥施用量与效率变化分析. 植物营养与肥料学报, **16**(5): 1136-1143.

李秀芬,贾 燕,黄元才,等. 2004. 播栽期对水稻产量和产

量构成因素及生育期的影响. 生态学杂志, **23**(5): 98-100.

刘建丰,袁隆平,邓启云,等. 2005. 超高产杂交稻的光合特性研究. 中国农业科学, **38**(2): 258-264.

鲁艳红,廖育林,周 兴,等. 2015. 长期不同施肥对红壤性水稻土产量及基础地力的影响. 土壤学报, **52**(3): 597-606.

罗盛国,尹宇龙,刘元英,等. 2015. 养分管理对寒地直播稻干物质积累、转运及产量影响. 东北农业大学学报, **46**(12): 16-23, 32.

史开兵,邓华凤. 2004. 中国杂交粳稻科技创新研讨会. 杂交水稻, **19**(3): 76.

唐海明,肖小平,李 超,等. 2018. 长期施肥对双季稻区水稻植株养分积累与转运的影响. 生态环境学报, **27**(3): 469-477.

汪 航,周建光,翟国栋,等. 2015. 不同有机肥与化肥配合施用对水稻增产效果研究. 现代农业科技, (11): 23-26.

王 忠,沈建国,楼 玲,等. 2017. 不同配方复合肥对粳稻杂交化肥减量增效的探索. 中国农学通报, **33**(29): 72-76.

吴文革,张洪程,钱银飞,等. 2007. 超级杂交中粳水稻物质生产特性分析. 中国水稻科学, **21**(3): 287-293.

闫 湘,金继运,梁鸣早. 2017. 我国主要粮食作物化肥增产效应与肥料利用效率. 土壤, **49**(6): 1067-1077.

杨建昌,杜 永,吴长付,等. 2006. 超高产粳型水稻生长发育特性的研究. 中国农业科学, **39**(7): 1336-1345.

袁颖红,樊后保,黄欠如,等. 2009. 长期施肥对水稻光合特性及水分利用效率的影响. 生态学杂志, **28**(11): 2239-2244.

张宏根,孔宪旺,朱正斌,等. 2010. 粳稻三系亲本的特性特征与杂种优势分析. 作物学报, **36**(5): 801-809.

张洪松,岩田忠寿,佐腾勉. 1995. 粳型杂交稻与常规稻的物质生产及营养特性的比较. 西南农业学报, **8**(4): 11-16.

张文锋,袁颖红,周际海,等. 2016. 长期施肥对红壤性水稻土碳库管理指数和双季水稻产量的影响. 生态环境学报, **25**(4): 569-575.

赵 凌,赵春芳,周丽慧,等. 2015. 中国水稻生产现状与发展趋势. 江苏农业科学, **43**(10): 105-107.

郑盛华,陈红琳,陈雨芝,等. 2017. 川西平原不同基础地力和施肥对水稻生长及产量的影响. 中国农学通报, **33**(23): 63-67.

Peng SB, Tang QY, Zou YB. 2009. Current status and challenges of rice production in China. *Plant Production Science*, **12**: 3-8.

Peng SB, Buresh RJ, Huang JL, et al. 2006. Strategies for overcoming low agronomic nitrogen use efficiency in irrigated rice systems in China. *Field Crops Research*, **96**: 37-47.

Peng SB, Huang JL, Zhong XH, et al. 2002. Challenge an opportunity in improving fertilizer-nitrogen use efficiency of irrigated rice in China. *Agricultural Sciences in China*, **1**: 776-785.

作者简介 房 闵,女,1983年生,博士研究生,从事水稻生理与遗传基础研究. E-mail: fangmin1012@126.com  
责任编辑 李凤芹