

肥密互作对寒地水稻源库关系的影响

汪秀志¹, 刘崇文², 许谊强², 吕艳东¹, 刘丽华¹, 郑桂萍¹, 钱永德^{1*}

(1.黑龙江八一农垦大学农学院, 黑龙江 大庆 163319; 2.黑龙江省鹤岗市二九〇农场, 黑龙江 鹤岗 156202)

摘要:采用多元二次旋转回归正交组合设计试验, 研究 3 个施期(基肥和蘖肥、穗肥、粒肥)的氮肥用量、调节肥施用时间及穴距等 5 个因素对粳稻垦鉴稻 10 号源库关系的影响。结果表明, 基肥和蘖肥用氮量与最大叶面积指数及单位面积结实颖花数呈显著正相关; 调节肥施用时间与单位面积结实颖花数呈负相关; 穴距与最大叶面积指数及单位面积结实颖花数呈极显著二次曲线关系。说明通过适当加大前期用氮量或协调前期用氮量与种植密度等栽培措施的互作, 可在适当范围内(即基、蘖肥用氮量达到 140 kg/hm², 穗肥, 粒肥用氮量为 0 kg/hm², 调节肥施用时期 6.7 叶, 穴距 12 cm)提高群体结实颖花数并最终提高产量。

关键词:寒地水稻垦鉴稻 10 号; 源库关系; 叶面积指数; 实颖花数

中图分类号: S511.01

文献标志码: A

文章编号: 1007-1032(2013)01-0017-06

Interactive effects of fertilizer and density on source and sink of rice in cold area

WANG Xiu-zhi¹, LIU Chong-wen², XU Yi-qiang², Lü Yan-dong¹, LIU Li-hua¹, ZHENG Gui-ping¹, QIAN Yong-de^{1*}

(1. College and Agronomy, Heilongjiang Bayi Agricultural University, Daqing, Heilongjiang 163319, China; 2. Farm 290, Hegang City, Heilongjiang 156202, China)

Abstract: To investigate the effects of dosage of nitrogen (N) fertilizer at early stage (ES), middle stage (MS) and late stage (LS), of application time of the regulating fertilizer (RF) and of row space (RS) on the source-sink relationship of the conventional *japonica* rice variety Kengjiandao10, the field experiment with multiple factors quadratic rotational-regressive-orthogonal combination design was conducted in cold area of China. The results showed that the amount of N-fertilizer applied at early stage had significant positive correlation with the maximum leaf area index (LAI_{max}) and with the spikelets per unit area; the application time of RF had negative correlation with fertile glume numbers per unit area; and the RS had a quadratic curve relationship with LAI_{max} and with the fertile glume numbers per unit area. It can be concluded that fertile glume numbers could be improved by increasing the amount of N-fertilizer at early stage or by interaction between N-fertilizer application and other cultivation measures (N-fertilizer amount at ES being 140 kg/hm², N-fertilizer amount at MS and LS being 0 kg/hm², RF being applied at 6.7 leaf stage, RS being 12 cm), thus improve the rice yield.

Key words: rice cultivar Kenjiandao10 for cold area; source-sink relationship; leaf area index; fertile glume numbers

水稻产量的形成实质上是源库互作的过程, 其高低决定于产量库容(单位面积颖花数×粒重)的大小、源(叶面积×净同化率)及流(光合产物向库的运转)的强弱^[1]。

从水稻源库关系角度分析水稻高产成因的研究较多, 苏祖芳等^[2]的研究结果表明, 通过适宜的基、蘖肥与穗粒肥配比, 使穗粒协调, 可获得较高的单位面积总颖花量; 张镇铭等^[3]认为, 群体颖花

收稿日期: 2012-06-26

基金项目: 黑龙江省科学技术厅项目(GA10B102); 黑龙江省农垦总局科技局项目(HNK11A-02-02; HNK11A-01-01-02)

作者简介: 汪秀志(1978—), 女, 辽宁沈阳人, 讲师, 主要从事水稻分子育种研究, wangxiuzhi9711@163.com; *通信作者, qyd1973@126.com

量与前后期施肥比例呈二次曲线关系,前期比例过高或过低,群体颖花量均低;顾万海等^[4]、杜永林等^[5]则认为,在前期与穗粒肥比例相同条件下,施氮量增加,群体成穗率提高,总颖花量增加,叶面积指数(LAI)增高,倒3叶时施肥对源库关系影响最大;郑志广等^[6]、蒋之坝等^[7]在研究粳稻播栽密度和施氮方法的扩库增源效应时发现,库、源形成和播栽密度和施氮方法密切相关,其有效库容和经济产量源均与稻谷产量呈线性关系;叶永印等^[8-10]研究认为,随着穗粒肥比例的提高,库大源强,茎鞘物质运转率高,籽粒充实饱满,产量高。通过重施基肥,不施分蘖肥,稳施穗粒肥的方法可提高成穗率,增多穗数和总实粒数而获得较高产量。

目前有关水稻高产群体源库关系的研究主要集中在单项农艺措施上,多项农艺措施对水稻产量的协同作用则研究较少。笔者以优良品种垦鉴稻10号为供试材料,在寒地条件下以基肥和蘖肥施氮量、穗肥施氮量、粒肥施氮量、调节肥施用时期、密度等为可变参数,探讨肥密因素互作对水稻源库关系的影响。

1 材料与方法

1.1 材料

试验于2010年在黑龙江省密山市裴德镇进行。试验地土质为草甸白浆土,土壤有机质含量4.62%,速效氮含量314.66 mg/kg,速效磷含量18.36 mg/kg,速效钾含量129.4 mg/kg,土壤pH值6.77,有效积温2500℃。

水稻材料为垦鉴稻10号,主茎11叶,生育期125d,大穗型,分蘖力中等,抗性好,丰产性好,活动积温2300~2500℃。

1.2 试验设计

以基、蘖肥用氮量(X_1)、穗肥用氮量(X_2)、粒肥用氮量(X_3)、调节肥施用时期(叶龄 X_4)及穴距(X_5)为自变量,按二次回归正交旋转组合设计,设36个小区,每小区15 m²,田间随机排列,形成不同的肥密群体结构。基肥为过磷酸钙(P₂O₅含量46%)90 kg/hm²和硫酸钾(K₂O含量50%)36 kg/hm²。氮肥选用46.4%的尿素,基、蘖肥尿素总量0~140 kg/hm²,

其中基肥氮与蘖肥氮比例为3:4,穗肥尿素用量0~40 kg/hm²,粒肥尿素用量0~20 kg/hm²,粒肥硫酸钾(K₂O含量50%)24 kg/hm²;调节肥为尿素15 kg/hm²。苗龄达到3.1~3.5叶时,按每穴3苗插秧,穴距范围4~20 cm,行距为30 cm。其他措施按旱育稀植三化栽培技术进行,试验实施方案如表1。

表1 各处理因子及水平

因素水平	基、蘖肥施氮量/(g·m ⁻²)	穗肥施氮量/(g·m ⁻²)	粒肥施氮量/(g·m ⁻²)	调节肥施用时期	穴距/cm
-2	0	0	0	6.7	4
-1	3.5	1	0.5	7.7	8
0	7.0	2	1.0	8.7	12
1	10.5	3	1.5	9.7	16
2	14.0	4	2.0	10.7	20

1.3 样品采集与测定项目

每小区内连续选定10株,作为田间调查对象,每7d调查株高、茎数、叶龄动态。根据田间调查结果,每隔14d采平均样1次,每次采样2株,将叶片、茎鞘、穗和枯萎部分分开,考察各部分干重,并据此推算出干物质生产动态、叶面积指数动态、穗部物质积累动态。其中,叶面积的测算方法采用干重法;分蘖末期、孕穗期取样以植株为中心,在田间挖取长、宽、深分别为0.3 m×0.12 m×0.20 m土块,缓慢洗净后将地上部与地下部分分开,分别烘干称重^[11]。

水稻成熟前,每小区定3点,每点连续选10穴,求算单株茎数,并据此测算平方米茎数。每点采平均样3株,风干后考种,求算单位面积穗数、每穗粒数、结实率和千粒重,并据此计算出单位面积产量。其中结实率和千粒重的测定是将单株籽粒样品用FJ-I型种子风选净度仪定时、定风量鼓风分离空秕后,分别测各部分粒数和质量算得。

1.4 数据处理

采用DPS软件进行数据处理。

2 结果与分析

采用多元二次旋转回归方程,将叶面积作为源,籽粒作为库,试验中,对源(最大叶面积指数

LAI_{max} 、库(单位面积总颖花数)进行分析表明,最大叶面积指数(X)与单位面积的颖花量(Y)之间呈极显著的二次曲线关系($R=0.7080^{**}$),并得到单位面积总颖花量方程: $Y=-0.148884+2.0127X-0.230979X^2$ 。说明在一定范围内颖花量随最大叶面积的增大而增多,同时要在单位面积内获得最大颖花量需要有适宜的最大叶面积指数。

2.1 试验因子对库的影响

对供试因子与库作统计分析显示, F_R 均极显著, F_{LF} 均不显著,说明供试因子对单位面积总颖花量及结实颖花量的影响是有效的,且回归方程可靠。

对供试因子与库进行统计分析,得到供试因子与每平方米总颖花数的回归方程:

$$Y_3 = 38820.65 + 48.3X_1 + 941.97X_2 + 442.41X_3 - 777.00X_4 - 181.15X_5 - 56.94X_1^2 - 189.94X_2^2 - 699.64X_3^2 - 765.40X_4^2 - 945.20X_5^2 - 2623.15X_1X_2 + 589.18X_1X_3 - 1380.35X_1X_4 - 1264.78X_1X_5 - 738.10X_2X_3 - 308.41X_2X_4 - 620.97X_2X_5 + 65.87X_3X_4 + 556.43X_3X_5 - 831.62X_4X_5。$$

供试因子与每平方米结实颖花数的回归方程:
 $Y = 35605.2 + 3218.5X_1 + 962.9X_2 + 115.8X_3 - 1075X_4 + 264.9X_5 - 509.4X_1^2 - 171X_2^2 - 530.5X_3^2 - 620.1X_4^2 - 1031.4X_5^2 - 1927.3X_1X_2 + 345.7X_1X_3 - 1475X_1X_4 - 434.9X_1X_5 - 207.5X_2X_3 - 251.3X_2X_4 - 689.4X_2X_5 - 55.4X_3X_4 + 702.6X_3X_5 - 357.2X_4X_5。$

在 $\alpha=0.05$ 显著水平剔除不显著项后,将上式简化后的回归方程为:

$$Y = 35605.2 + 3218.5X_1 + 962.9X_2 - 1075X_4 - 1031.4X_5 - 1927.3X_1X_2 - 1475X_1X_4。$$

当各供试因子基肥和穗肥施氮量、穗肥施氮量、粒肥施氮量、调节肥用时期及穴距分别处于 2、-2、-2、-2 及 0 水平时可获得单位面积(m^2)最大结实颖花量 5.59 万个。

2.1.1 试验因子对库的主效应分析

从群体产量形成看,穗粒数影响产量的形式主要表现为单位面积颖花数或单位面积结实颖花数。各因子对单位面积颖花数的主效应分析(图 1)和方差分析(表 2)结果表明,前期施氮量对单位面积总颖

花数的作用达极显著水平,前期施氮量与穗肥施氮量的互作对单位面积总颖花数的作用达显著水平。可见在供试条件下,适当加大前期氮用量会大大提高单位面积的总颖花数。

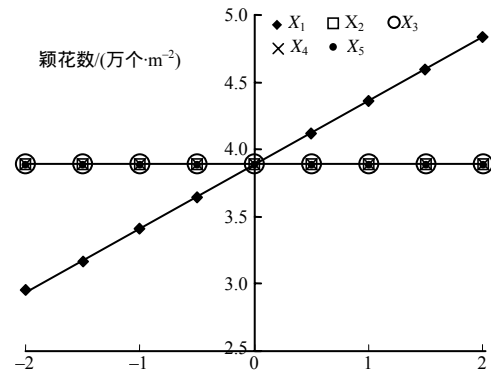


图 1 试验因素对单位面积颖花数的主效应

Fig. 1 Main effect of test factors on spikelet numbers per unit area

表 2 各因子对单位面积总颖花量及结实颖花数的方差分析结果

Table 2 Variance analysis of each factor on total spikelet and fertile glume numbers per unit area

变异来源	自由度	F(总颖花数)	F(结实颖花)
X ₁	1	71.723 0 ^{**}	51.82 ^{**}
X ₂	1	2.822 7	4.638 [*]
X ₃	1	0.622 7	0.067
X ₄	1	1.920 5	5.782 [*]
X ₅	1	0.104 4	0.351
X ₁ ²	1	0.013 8	1.731
X ₂ ²	1	0.153 0	0.195
X ₃ ²	1	2.076 2	1.877
X ₄ ²	1	2.484 9	2.565
X ₅ ²	1	3.789 4	7.097 [*]
X ₁ X ₂	1	14.59 3 [*]	12.389 ^{**}
X ₁ X ₃	1	0.736 2	0.399
X ₁ X ₄	1	4.040 8	7.256 [*]
X ₁ X ₅	1	3.392 5	0.631
X ₂ X ₃	1	1.155 4	0.144
X ₂ X ₄	1	0.201 7	0.211
X ₂ X ₅	1	0.817 8	1.585
X ₃ X ₄	1	0.009 2	0.010
X ₃ X ₅	1	0.656 6	1.647
X ₄ X ₅	1	1.466 7	0.426
回归	20		
剩余	15		
失拟	6		
误差	9		
总和	35		
F _R		5.639 ^{**}	5.041 ^{**}
F _{LF}		0.942	0.771

各因子对单位面积结实颖花数的作用也不同(图2),比值F显示,前期施氮量对增加单位面积的颖花数及结实颖花数的作用都达到极显著水平,穗肥施氮量对提高单位面积结实颖花数量的作用达到显著水平而对单位面积颖花总量的提高无明显作用。调节肥施用时期对增加单位面积结实颖花数起到明显的负作用,适当早施调节肥可有效地提高单位面积的结实颖花数量。穴距与单位面积结实颖花数的关系呈二次曲线关系,表明要获得最大结实颖花数穴距不宜过大或过小,其二次项对单位面积结实颖花数的变化有显著作用。

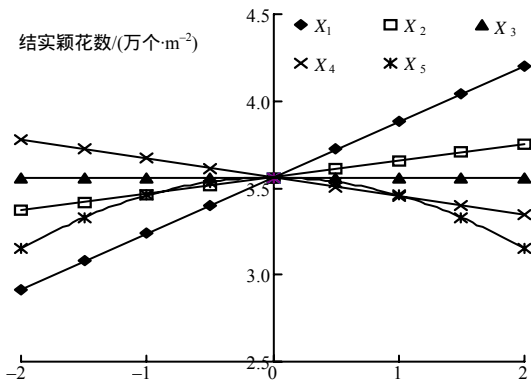


图2 试验因素对单位面积结实颖花数的主效应

Fig.2 Main effect of test factors on fertile glume numbers per unit area

2.1.2 前期施氮量和穗肥施氮量对单位面积总颖花数的两因子效应

前期施氮量与穗肥施氮量对单位面积总颖花数的2因子效应达到0.05显著水平,其二次方程为: $Y_{3(12)}=38\ 820.65+48.30X_1+941.97X_2-56.94X_1^2-189.94X_2^2-2\ 623.15X_1X_2$ 。

前期施氮量和穗肥施氮量对单位面积总颖花数的边际效应方程为:

$$Y_{1(12)/X_1}=48.30-112.88X_1-2\ 623.15X_2;$$

$$Y_{1(12)/X_2}=941.97-379.88X_2-2\ 623.15X_1。$$

以上方程反映了分别固定前期肥施氮量与穗肥施氮量中的任一因素(其他因素均处于零水平)时,另一因素与单位面积总颖花数的关系。前期施氮量与穗肥施氮量对单位面积总颖花数及单位面积结实颖花数的双因子效应相似。当前期施氮量处于较低水平(-2至0.5、穗肥施氮量处于2以下的水平,对单位面积总颖花数(或单位面积结实颖花数)显示正效应,且随前期施氮量的增大其正效应减

小,当前期施氮量处于中等以上(0.5至2以内)水平时,穗肥施氮量处于2以内水平下对单位面积总颖花数(或单位面积结实颖花数)呈负效应,且随前期施氮量的增大其对单位面积总颖花数(或单位面积结实颖花数)的负效应越明显,当穗肥施氮量处于中等以下[-2, 1.5]水平时,前期施氮量对单位面积总颖花数(或单位面积结实颖花数)显示正效应,即穗肥施氮量适中时,增大前期施氮量有利于提高库的水平;当穗肥施氮量处于供试最高水平时,前期施氮量对单位面积总颖花数(或单位面积结实颖花数)显示负效应,即穗肥施氮量过大条件下,前期施氮量大不利于形成较多的单位面积总颖花数(图3、图4)。

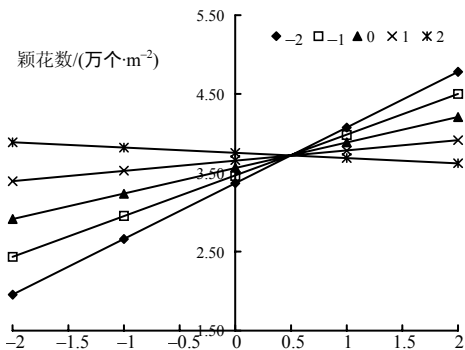


图3 前期氮肥用量(X1)与穗肥用氮量(X2)对颖花数的影响

Fig.3 Effect of the amount of N at ES(X1) and panicle fertilizer(X2) on spikelet numbers

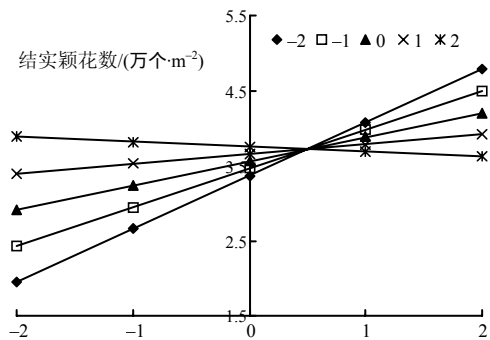


图4 前期氮用量(X1)与穗肥用氮量(X2)对单位面积结实颖花数的双因子效应

Fig.4 Double effect of the amount of N at ES (X1) and panicle fertilizer on fertile glume numbers per unit area (X2)

2.2 试验因子对群体叶源量的影响

以最大叶面积指数(LAI_{max})、抽穗期叶面积指数(dLAI)或光合势(LAD)作为叶源量的指标,则由试验数据可得到如下结果:LAI_{max}与dLAI呈极显著正相关(R=0.995 8**, R²=0.991 5, Y=0.006+0.99X)、与光合势呈极显著正相关(R=0.945 0**, R²=0.893 0,

$Y=0.14+0.01X$),最大叶面积指数、抽穗期及光合势均与产量呈极显著二次曲线关系(R 分别为 0.6836^{**} 、 0.5961^{**} 、 0.6770^*),说明产量与叶源量间存在最佳组合。前期施氮量与最大叶面积指数呈显著正相关($R=0.3547^*$);穴距与最大叶面积指数呈极显著的二次曲线关系($R=0.5108^{**}$)。

对高产群体的叶源量与产量关系进行相关分析,表明最大叶面积指数、抽穗期叶面积指数及光合势与产量的密切程度由大至小依次为最大叶面积指数、抽穗期叶面积指数、光合势,说明适当提高叶源量也可提高稻谷产量(表3)。

表3 不同群体类型的 LAI_{max} 和 $dLAI$ 及 LAD

Table 3 LAI_{max} , $dLAI$, LAD of different population type

群体类型	LAI_{max}	$dLAI$	LAD	经济产量/(t·hm ⁻²)
低产群体	2.25	2.25	134.9	6.9
中产群体	3.02	3.02	195.8	8.0
高产群体	3.16	3.13	202.5	9.1

2.3 试验因子对群体粒叶比的影响

曾有研究认为粒叶比是衡量源库关系的重要指标^[10],若分别用单位叶面积总粒数或单位叶面积有效粒数与抽穗期叶面积指数($dLAI$)的比值来表示,用一般粒叶比(SLm)、常规粒叶比(SLd)作为粒叶比的表达方式,本研究结果与前人迥异(表4)。供试品种的粒叶比相对稳定,基本在1左右,且与产量相关不显著,这一方面意味着供试品种长叶与形成总颖花量过程比较协调,粒叶比相对稳定,同时也暗示调整粒叶比对产量作用不大,这可能与寒地稻区特殊气候及品种的特性有关。

表4 不同群体类型的粒叶比

Table 4 Grain-leaf ratio of different population types 万个/m²

群体类型	单位面积粒数	单位面积实粒数	SLm	SLd
低产群体	2.707	2.600	1.265	1.167
中产群体	3.596	3.210	1.247	1.132
高产群体	3.970	3.619	1.324	1.203

2.4 试验因子对库与经济产量关系的影响

将单位面积穗数与每穗粒数相乘,使得单位面积总粒数,可以把它作为单位面积的总库容。库容量与经济产量之间存在极显著二次曲线关系: $Y=0.1409X^2+2.5158X+1.1213(R=0.8299^{**}$;低产群体 $R=0.9870^*$,中产群体 $R=0.5803^*$,高产群体

$R=0.9530^{**}$)。低产、中产、高产群体的库容量分别集中在每平方米2.5~2.9万个颖花、3.4~3.6万个颖花、3.5~4.1万个颖花(图5),可以看出,在供试条件下,稻谷产量随单位面积总颖花量的增大呈上升趋势,即在一定条件下增大库容可提高供试品种产量。

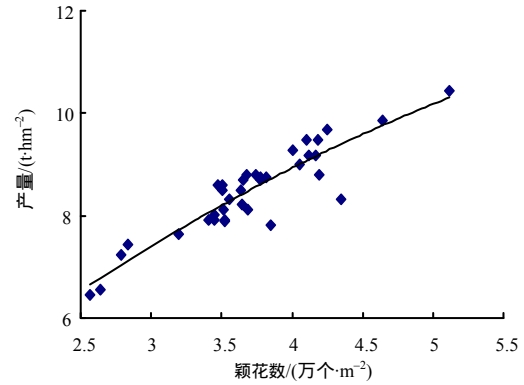


图5 水稻不同库容量(总颖花数)下的产量

Fig. 5 Storage capacity of rice (total spikelet numbers) and yield

3 讨论

本研究中,试验因素对群体的库容量(颖花量)影响不同,对群体总颖花量和结实颖花数的作用效果也不一致,其中,对群体总颖花量起决定作用的是不同因素间的交互,其次是单因子,作用最大的单因子是穗肥用氮量,其次是调节肥施用时期。对群体总颖花量作用由大到小的试验因素为前期用氮量与穗肥用氮量的交互、前期用氮量与调节肥施用时期的交互、前期用氮量与穴距的交互、穴距的二次项、穗肥用氮量等。

对群体结实颖花数影响最大的因素分别是(按由大至小排列)前期用氮量、前期用氮量与穗肥用氮量的交互、前期用氮量与调节肥用氮量的交互、调节肥施用时期、穴距的二次项。

从对库的影响角度考虑肥密因子,首要的应是前期用氮量或前期用氮量与其他因素的合理搭配。如需获得较高的结实颖花数,则前期肥施氮量、穗肥施氮量、粒肥施氮量、调节肥施用时期及穴距需分别处于2、-2、-2、-2及0水平时才可获得单位面积(m²)最大结实颖花量(5.59万个)。

根据试验因素对库容量的作用以及库与产量的关系可知,要获得较高产量可以通过控制试验因

素如适当加大前期用氮量或协调前期用氮量与其他栽培措施的互动,在适当范围内提高群体结实颖花数量而达到提高产量的目的。

若群体叶源量以最大叶面积指数为主要指标,则它与产量之间存在最适值,因此要获得高产,最大叶面积指数要适度,如在本试验条件下高产区的最佳叶面积指数在4.1~4.3,叶源量过大或过小都不能获得高产,因此,通过对肥密因子的调控,如本试验中可以通过适当加大前期用氮量或通过穴距处理获得适宜的密度,使群体叶源量达到最适,以取得水稻高产。

最大叶面积指数(源)与产量间存在最适值,群体颖花量(库)与产量间也存在最适值,这表明供试品种源库协调,在一定范围内增源可以增产,增库也可以达到增产目的。对源(LAI_{max})与库(总颖花量或结实颖花量)做方差分析,结果显示源与库间不存在显著相关,意味着叶源量的变化对群体颖花量的多少没有太大影响,如粒叶比相对稳定,这可能与品种的较强自我调节能力和品种对相应栽培措施的反应有关。

参考文献:

[1] 苏祖芳,郭宏文,李永丰.水稻群体叶面积动态类型的研究[J].中国农业科学,1994,27(4):23-30.

- [2] 苏祖芳,张亚洁,张娟.前期与穗粒肥配比对水稻产量形成和群体质量的影响[J].江苏农学学报,1995,16(3):21-30.
- [3] 张镇铭,姚金富,邵达孚,等.不同群体条件下穗肥施用量对水稻分蘖成穗的影响[J].西南农业学报,1998,11(1):148-151.
- [4] 顾万海,何高.氮肥运筹比例对水稻群体质量影响的研究[J].作物杂志,1999(1):12-15.
- [5] 杜永林,苏祖芳.氮肥运筹对水稻抽穗期群体源库质量的影响[J].耕作与栽培,1999(2):20-23.
- [6] 郑志广,尹德明,李子芳,等.不同肥水条件对水稻生育状况及产量构成因素的影响[J].天津农学院学报,2003(6):9-13.
- [7] 蒋之坝,黄仲青,李奕松.中粳稻播栽密度和追氮方法的扩库增源效应研究[J].江苏农学院学报,1998,19(1):35-39.
- [8] 叶永印,张时龙.同施氮方式对水稻群体结构的影响[J].耕作与栽培,2001(2):21-23.
- [9] 叶永印,张时龙.不同育期施氮对水稻群体物质生产及分配的影响[J].山地农业生物学报,2001,20(6):411-416.
- [10] 凌启鸿,张洪程,蔡建中.水稻高产群体质量及其优化控制技术探讨[J].中国农业科学,1993(6):1-12.
- [11] 张龙步,董克,徐正进,等.水稻田间试验方法与测定技术[M].沈阳:辽宁科学技术出版社,1993:61-69.

责任编辑:罗慧敏

英文编辑:罗维