

## 机插水稻产量与产量相关性状及农艺性状的相关性研究

吴正贵, 蔡林运, 盛雪雯, 邱枫, 徐建方, 黄洁, 周培南 (苏州市农业技术推广中心, 江苏苏州 215006)

**摘要** [目的]探究水稻产量与其相关性状间的相关性。[目的]以有代表性的44块田作为样本点,采集影响水稻产量的有关性状,并分为产量相关性状组和农艺性状组,系统运用简单相关、复相关和典型相关分析等方法进行全面分析。[结果]产量与产量相关性状组之间存在极强的相关性,其中与穗数和穗粒数的相关性较强;产量与农艺性状组的相关性并不显著,但农艺性状组可通过产量相关性状组间接作用于产量;在一定范围内,二次枝梗数越多,倒1叶长度越短,产量也越高。[结论]实际生产中,同时增加有效穗数和穗粒数是夺取高产、超高产的根本途径,但在高产水平上实现更高产,关键要在足穗数的基础上增加穗粒数。

**关键词** 机插水稻;产量相关性状组;农艺性状组;相关性

中图分类号 S511 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2017)32-0021-03

## Research on Correlation Between Yield and Yield-related Traits and Agronomic Characters in Machine-transplanted Rice

WU Zheng-gui, CAI Lin-yun, SHENG Xue-wen et al (Suzhou Agricultural Technology Promotion Center, Suzhou, Jiangsu 215006)

**Abstract** [Objective] To explore the correlation between rice yield and its related characters. [Method] We took the representative 44 plots as the sample points, the paper collected the related traits affecting the yield of rice, and divided it into yield-related traits and agronomic traits, systematically used simple correlation, complex correlation and canonical correlation analysis. [Result] It had a strong correlation between yield and yield-related traits, among which the correlation between spike number and spike grain number was the strongest, the correlation between yield and agronomic trait group was not significant, but the agronomic trait group could indirectly affect the yield by yield-related trait group. In a certain range, the more secondary branches, the shorter length of flag leaf, and the higher yield. [Conclusion] In actual production, increasing both effective panicle number and grain number per area is the basic way to capture high yield and super yield, but to achieve more high yield in a high level, the key is to increase the number of grains on the basis of enough spikes.

**Key words** Machine-transplanted rice; Yield-related traits group; Agronomic traits group; Correlation

在栽培学研究上,水稻产量与产量构成因子穗数、穗粒数、粒重、结实率等的相关性研究已较为深入<sup>[1]</sup>。该研究将影响水稻产量的性状分为产量相关性状组(穗数、穗粒数、颖花数、结实率、千粒重)及农艺性状组(一次枝梗数、二次枝梗数、倒1叶长、倒2叶长、倒3叶长),并运用多种相关分析手段,试图找出产量与产量相关性状组及农艺性状组之间的相关性,为进一步丰富栽培学理论,指导大面积实现高产、超高产提供科学依据。

## 1 材料与方法

**1.1 材料** 试验材料为苏州地区主推水稻品种武运粳30,播栽方式为机插秧。于2016年11月水稻收获前分别在张家港市、常熟市、太仓市、昆山市及吴江区,选择生产水平相对较高且在当地有代表性的水稻绿色高产增效创建示范片进行取样,其中常熟市取样4块田,其他市、区各取样10块田,共44个样本点。每块田机械实收产量( $Y$ ),5点取样法测定株距( $X_1$ )、穗数( $X_2$ )、穗粒数( $X_3$ )、颖花数( $X_4$ )、结实率

( $X_5$ )、千粒重( $X_6$ )、倒1叶长( $X_7$ )、倒2叶长( $X_8$ )、倒3叶长( $X_9$ )、一次枝梗数( $X_{10}$ )和二次枝梗数( $X_{11}$ )。

**1.2 方法** 将所有性状指标划分为3个组:产量( $Y$ )、产量相关性状组( $X_1 \sim X_6$ )以及农艺性状组( $X_7 \sim X_{11}$ ),从简单相关分析、复相关分析和典型相关分析3个方面对各性状指标数据进行分析,所有数据分析通过R语言软件实现。

## 2 结果与分析

**2.1 基本统计特征** 由表1可知,44个样本点的实产平均为 $1.08 \times 10^4$  kg/hm<sup>2</sup>,达到高产水平,产量最低为 $0.87 \times 10^4$  kg/hm<sup>2</sup>、最高为 $1.26 \times 10^4$  kg/hm<sup>2</sup>,平均株距、每穴穗数和穗数这3个指标表现相对突出<sup>[2]</sup>。部分性状相较于高产下的理想水平存在较大争议<sup>[3-4]</sup>,尤其突出的指标就是结实率相对较低,仅为87%<sup>[5]</sup>,推测其主要原因为生育后期的长期阴雨。此外,农艺性状组中叶片状态、大小等表现一般,光合源存在提升空间等<sup>[4]</sup>。

表1 武运粳30各指标性状的基本统计特征

Table 1 Basic statistical characteristics of each indicator of Wuyunjing 30

项目 Item	株距 Planting distance cm	穗数 Panicle number 万穗/hm <sup>2</sup>	穗粒数 Grain number per panicle	颖花数 Spikelets number $\times 10^8$ 个/hm <sup>2</sup>	结实率 Seed setting rate//%	千粒重 1 000-grain weight//g
均值 Mean	14.61	315.70	146.08	4.61	87.00	28.74
标准差 Standard deviation	2.33	34.68	17.09	5.92	5.23	1.39
中位数 Median	13.59	316.73	145.24	4.42	86.88	28.39
最小值 Minimum	11.57	226.35	105.47	3.68	75.93	26.68
最大值 Maximum	18.75	394.20	180.67	5.92	96.02	31.71

接下表

**作者简介** 吴正贵(1973—),男,江苏盐城人,高级农艺师,从事农作物栽培理论及实践、农业技术研究与推广工作。

**收稿日期** 2017-08-02

续表 1

项目 Item	一次枝梗数 Primary branch number	二次枝梗数 Secondary branch number	倒1叶长 Length of the first leave from the top cm	倒2叶长 Length of the second leave from the top cm	倒3叶长 Length of the third leave from the top cm	产量 Yield $\times 10^4 \text{ kg/hm}^2$
均值 Mean	13.14	22.72	23.12	34.09	38.47	1.08
标准差 Standard deviation	1.20	4.19	3.47	3.25	3.10	0.11
中位数 Median	13.17	22.36	23.15	34.22	37.78	1.11
最小值 Minimum	10.29	16.47	16.65	27.67	31.54	0.87
最大值 Maximum	16.00	31.33	32.49	40.06	46.55	1.26

## 2.2 多种相关分析结果

### 2.2.1 产量与产量相关性状组及农艺性状组的复相关分析。

为研究不同性状指标与产量间的相关性,首先从整体角度出发,基于复相关分析,分别研究2组性状组与产量间的相关性,分析结果汇总于表2。

表2 2组性状组与产量间的复相关分析

Table 2 Correlation analysis between the two groups of traits and yield

各性状组 Traits group	复相关系数 Multiple correlation coefficient(R)	显著水平 Significant level(P)
农艺性状组 Agronomic traits group	0.456	0.10
产量相关性性状组 Yield-related traits group	0.996**	<0.01

注:\*\*表示极显著水平

Note:\*\* represented significant level

由表2可知,2组性状组中,农艺性状组与产量的复相关系数未达显著水平(0.456)。而产量相关性性状组与产量的复相关系数达到极显著水平(0.996),说明产量相关性性状指标是影响产量最直接、最重要的因子,在产量形成过程中起决定性作用,产量相关性性状与产量的复相关变量(V)构成如下: $V=0.025X_2+0.026X_3+0.160X_4+0.085X_5+0.070X_6$ ,其系数绝对值的大小反映出原变量对复相关系数的影响程度,其中颖花数( $X_4$ )较其他因子有较大的载荷,表明产量相关性性状指标中与产量最为密切的即为颖花数。

### 2.2.2 产量与产量相关性性状组各指标间的简单相关分析。

为进一步剖析产量相关性性状组中各性状指标之间、各性状指标与产量之间的相关性,该研究仅提取了44个样本点的产量相关性性状指标与产量做简单相关分析,结果汇总于表3。

表3 产量、产量相关性性状组间的简单相关分析

Table 3 Simple correlation analysis between the yield and the yield-related traits group

产量及产量相关性性状 Yield and yield-related traits	株距 Planting distance	穗数 Panicle number	穗粒数 Grain number per panicle	颖花数 Spikelets number	结实率 Seed setting rate	千粒重 1 000-grain weight	产量 Yield
株距 Planting distance	1.000	-0.249	-0.164	-0.332*	0.286	0.607**	0.014
穗数 Panicle number	1.000	-0.357*	0.512**	-0.268	-0.096	0.443**	
穗粒数 Grain number per panicle	1.000	0.613**	-0.351*	-0.359*	0.397**		
颖花数 Spikelets number	1.000	-0.548**	-0.384**	0.755**			
结实率 Seed setting rate	1.000	0.296	0.012				
千粒重 1 000-grain weight	1.000	0.131					
产量 Yield	1.000						

注:\*表示显著水平;\*\*表示极显著水平

Note:\* represented significant level;\*\* represented extremely significant level

由表3可知,与产量相关性最大的性状指标是颖花量,其简单相关性系数达0.755,进一步验证了上述复相关分析得出的结论,且与前人的研究结果一致<sup>[5-6]</sup>。此外,穗数与穗粒数、穗数与千粒重间均存在显著负相关,因此,在高产栽培过程中,既要考虑到与产量相关性最为密切的性状指标的促进作用,又要考虑到产量相关性性状指标间互相存在的显著拮抗关系,只有协调发展好各产量相关性性状指标,才能实现高产、超高产的目标。

### 2.2.3 产量相关性性状组与农艺性状组间的典型相关分析。

在上述研究中农艺性状组与产量没有直接相关性的结论下,为进一步研究农艺性状组是否通过产量相关性性状组间接作用于产量,该研究额外采用典型相关分析对农艺性状组与产量相关性性状组之间的相关性进行研究,以解释产量相关性性状

组与农艺性状组之间变异的关系,分析结果汇总于表4。

鉴于典型相关系数的平方( $\lambda^2$ )是一组变量的变异可以被另一组变量的变异量解释的百分比,而在该试验中,农艺性状组与产量相关性性状组间前2个典型相关系数达到极显著水平,故可通过农艺性状大致推测产量结构及产量,这对于提高栽培措施的实施精准度极具参考意义。

其中,第一典型相关系数为0.923,第1对典型变量 $V_1$ 和 $W_1$ 分别表示为 $V_1=-0.001X_7+0.122X_8+0.024X_9+0.007X_{10}+0.056X_{11}$ , $W_1=0.004X_1+0.124X_2+0.233X_3-0.106X_4-0.040X_5-0.005X_6$ 。方程式 $V_1$ 中以 $X_8$ 的载荷最大,方程式 $W_1$ 中以 $X_3$ 的载荷最大, $X_2$ 次之,说明农艺性状组中影响产量相关性性状组的主要因素是二次枝梗数( $X_8$ ),且在一定范围内也间接说明了二次枝梗数越多,穗粒数越多

( $X_3$ ),产量也越高( $X_2$  和  $X_8$  的典型相关系数同为正数)。

表 4 农艺性状组与产量相关性状组典型相关分析

Table 4 Canonical correlation analysis between the agronomic traits group and yield-related traits group

相关性状 Related trait	$\lambda_1$ (0.923 **)	$\lambda_2$ (0.765 **)	$\lambda_3$ (0.536)	$\lambda_4$ (0.179)	$\lambda_5$ (0.040)
(产量相关性状组的典型载荷 $\alpha$ ) (Canonical loading $\alpha$ of yield-related traits group)					
一次枝梗数 Primary branch number	-0.001	0.080	-0.178	0.089	-0.140
二次枝梗数 Secondary branch number	0.122	0.097	0.090	0.022	0.122
倒 1 叶长 Length of the first leave from the top	0.024	-0.129	0.133	0.184	-0.064
倒 2 叶长 Length of the second leave from the top	0.007	-0.038	-0.245	-0.178	-0.022
倒 3 叶长 Length of the third leave from the top	0.056	-0.057	0.213	-0.105	-0.015
(农艺性状组的典型载荷 $\beta$ ) (Canonical loading $\beta$ of agronomic traits group)					
株距 Planting distance	0.004	0.007	0.107	0.039	-0.095
穗数 Panicle number	0.124	0.042	0.620	-0.182	0.883
穗粒数 Grain number per panicle	0.233	0.200	0.626	-0.259	0.951
颖花数 Spikelets number	-0.106	-0.151	-0.753	0.388	-0.986
结实率 Seed setting rate	-0.040	0.024	-0.129	0.046	0.051
千粒重 1 000-grain weight	-0.005	0.092	0.092	0.085	0.109

注: \*\* 表示极显著水平

Note: \*\* represented extremely significant level

第二典型相关系数为 0.765,第 2 对典型变量  $V_2$  和  $W_2$  分别表示为  $V_2 = 0.080X_7 + 0.097X_8 - 0.129X_9 - 0.038X_{10} - 0.057X_{11}$ ,  $W_2 = 0.007X_1 + 0.042X_2 + 0.200X_3 - 0.151X_4 - 0.024X_5 - 0.092X_6$ ,方程式  $V_2$  中  $X_9$ 、 $X_8$  和  $X_7$  的载荷较大,方程式  $W_2$  中同样以  $X_3$  的载荷最大,说明农艺性状组中影响产量相关性状组的主要因素依次是倒 1 叶长度( $X_9$ )、二次枝梗数( $X_8$ )和一次枝梗数( $X_7$ ),且在一定范围内,倒 1 叶长度越短,穗粒数( $X_2$ )越多,产量也越高( $X_2$  和  $X_9$  的典型相关系数

正负号不同)。

**2.3 产量分级及高产实现途径** 当产量水平存在明显差距时,产量构成会有显著变化,更易得出高产取得的途径,试验将 44 个样本点产量数据划分为 3 个等级:超高产(单产  $> 1.125 \times 10^4$  kg/hm<sup>2</sup>)、高产( $0.975 \times 10^4 \sim 1.125 \times 10^4$  kg/hm<sup>2</sup>)和一般产(单产  $< 0.975 \times 10^4$  kg/hm<sup>2</sup>),并分别统计各产量级下株距、颖花数、穗数、穗粒数等指标的平均值,统计结果总结于表 5。

表 5 各产量级下的产量相关性状

Table 5 Yield related traits at each yield level

等级 Grade	实际产量划分 Actual production division	株距 Planting distance cm	颖花数 Spikelets number $\times 10^8$ 个/hm <sup>2</sup>	穗数 Panicle number 万穗/hm <sup>2</sup>	穗粒数 Grain number per panicle	结实率 Seed setting rate//%	千粒重 1 000-grain weight g	产量 Yield $\times 10^4$ kg/hm <sup>2</sup>
I	单产 $> 1.125 \times 10^4$ kg/hm <sup>2</sup> (20 块占 45.5%)	14.32	5.05	327.04	154.34	86.43	28.68	1.182
II	单产 $0.975 \times 10^4 \sim 1.125 \times 10^4$ kg/hm <sup>2</sup> (17 块占 38.6%)	15.39	4.28	310.59	137.70	89.13	29.06	1.045
III	单产 $< 0.975 \times 10^4$ kg/hm <sup>2</sup> (7 块占 15.9%)	13.52	4.09	286.24	142.84	83.42	28.13	0.897

由表 5 可知,就相对低产级而言,高产、超高产级下的穗数和穗粒数均占优势;而相较于高产级,超高产级穗粒数明显增多,其他各产量相关指标差异不大。上述结果说明,同时增加穗数和穗粒数是夺取高产、超高产的根本途径,但在高产水平上实现更高产,关键要在足穗数的基础上增加穗粒数<sup>[7-8]</sup>,这为高产、超高产栽培进一步指明了方向。

### 3 结论与讨论

已有研究表明,对水稻产量构成最为重要的影响因素是穗数和穗粒数,其余产量构成因子协调发挥才能起到正向效应,取得高产高效<sup>[9]</sup>。武运梗 30 分蘖性中等,移栽期秧苗较瘦长,而品种的穗型潜力大,因此,需要合理密植以适当增加插秧密度,确保及早够苗,为后期主攻大穗获高产打下基

础<sup>[2]</sup>,实现稳产、争取高产。

影响水稻产量的性状指标很多,前人在研究分析时,多采用简单相关分析和通径分析等统计方法,但由于这些简单的分析方法仅能反映出单一的 2 个性状之间的相关性程度,因此一些性状的作用也容易被极大化或极小化。该研究额外采用复相关分析和典型相关分析的统计手段,综合反映了产量与产量相关性状组、产量相关性状组与农艺性状组间的相关本质,指出了各性状在组内的相对重要性,了解这些信息对于栽培实践中抓主要矛盾、协调各个性状的相互关系有重要作用。

该研究结果与前人研究一致,产量相关性状相关性分析

(下转第 26 页)

**2.2.2 氮肥运筹对油菜植株受冻害的影响。**冬天气温变化幅度大,特别是气温骤然下降会影响油菜植株生长。由于氮肥施用量大,油菜前期生长旺盛,叶片受冻害比例大,其中270 kg/hm<sup>2</sup>氮肥处理受冻害比例达85%。说明过量施氮肥对于个体来说生长发育良好,单株鲜重、叶面积大,但是受冻害比例大,不利于群体生长。

**2.2.3 氮肥运筹对油菜产量构成因素的影响。**由表4可知,在水稻秸秆还田和相同播种密度下,同品种油菜平均株

高、一次分枝数和千粒重各处理间差异不显著;每株角果数以270 kg/hm<sup>2</sup>氮肥处理最高,而每角粒数和理论产量以施氮量210 kg/hm<sup>2</sup>优于其他各处理,以210、270 kg/hm<sup>2</sup>氮肥处理与对照处理相比实际产量差异显著。对照组与其他施氮肥处理差异主要在于单株角果数决定其产量水平。这表明,在油菜播种密度为24.0万棵/hm<sup>2</sup>情况下,不同施氮量对油菜植株的单株角果数、每角粒数均有影响,以施氮量210 kg/hm<sup>2</sup>处理理论产量最高,达3 671.70 kg/hm<sup>2</sup>。

表4 氮肥运筹对油菜产量构成因素的影响

Table 4 Effects of different nitrogen application on the yield structure of oilseed rape

氮肥处理 Nitrogen treatment kg/hm <sup>2</sup>	株高 Plant height cm	一次分枝数 Primary branch number//个/株	单株角果数 Pod number of each plant//个	每角粒数 Number of pod	千粒重 1 000-grain weight g	理论产量 Theoretical yield kg/hm <sup>2</sup>	实际产量 Actual yield kg/hm <sup>2</sup>
CK	162.8	8.4	181.83	19.61	3.43	2 935.20	3 112.20 b
150	155.8	8.9	213.86	18.38	3.52	3 320.85	3 306.15 ab
210	163.3	9.2	201.88	20.76	3.65	3 671.70	3 505.20 a
270	166.0	9.6	220.72	17.52	3.65	3 387.45	3 561.90 a

注:同列数据后小写字母不同表示差异显著( $P < 0.05$ )

Note: Different small letters within the same column mean significant differences ( $P < 0.05$ )

### 3 结论

水稻秸秆还田下,油菜栽培技术要做适当调整,以保持作物产量,该试验通过选择适当的油菜种植品种,调控播种密度、肥料运筹等栽培技术开展研究,结果表明,水稻秸秆全量还田下油菜免耕直播,油菜品种对分枝数有一定的影响;播种密度与单株一、二次分枝数关系更为密切,适当增加油菜播种密度,有效减少分枝数量,便于油菜机械收割,同时适当密植能提高油菜产量<sup>[7]</sup>。

该试验结果表明,在相同施氮水平下,免耕直播油菜随播种密度增加,平均一、二次有效分枝数呈下降趋势,而产量随播种密度增加先增后减;在相同播种密度下,以施氮量210 kg/hm<sup>2</sup>处理的油菜生长性状最好,氮肥过少或氮肥过多,对油菜生长均不利。该研究结果为稻油轮作制度下秸秆

还田后的作物栽培提供研究依据。

### 参考文献

- [1] 杨振权,陈永星. 水田机械秸秆深施的养分释放及增产效果研究[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版),2000,26(3):329-331.
- [2] 江永红,宇振荣,马永良,等. 秸秆还田对农田生态系统及作物生长的影响[J]. 土壤通报,2001,10(5):209-213.
- [3] 金海洋,姚政,徐四新,等. 秸秆还田对土壤生物特性的影响研究[J]. 上海农业学报,2006,22(1):39-41.
- [4] 张军. 浅谈肥东县油菜机收及油菜秸秆还田[J]. 农业装备技术,2009,35(4):55.
- [5] 王允青,郭熙盛,武际,等. 油菜秸秆还田及肥料运筹对水稻生长的影响[J]. 安徽农业科学,2009,37(11):4923-4924.
- [6] 王月星,陈叶平,高松林,等. 不同油菜秸秆还田量对免耕直播单季晚稻产量的影响[J]. 作物研究,2007,21(4):438-439.
- [7] 吴永成,刘东伟,王海鑫,等. 不同密度与施氮量对油研1707油菜农艺性状及产量的影响[J]. 湖北农业科学,2010,49(4):813-815.

(上接第23页)

和各产量级统计特征都说明了颖花数的重要性,农艺性状与产量性状也是高度相关;而不同产量级下各产量相关性状与产量性状的相关性未达显著水平,可能是试验的样本采集量偏小,不能全面说明武运梗30在苏州地区种植产量相关的所有问题,需要后续进一步研究。

### 参考文献

- [1] 吴桂成,张洪程,钱银飞,等. 梗型超级稻产量构成因素协同规律及超高产特征的研究[J]. 中国农业科学,2010,43(2):266-276.
- [2] 徐晓杰,张庆,朱邦辉,等. 优质高产新品种武运梗30号机插高产栽培技术研究[J]. 安徽农业科学,2014,42(29):10107-10108.
- [3] 施积文. 水稻武运梗30号机插秧高产攻关技术集成研究[J]. 农业装

备技术,2015,41(6):24-27.

- [4] 赵海燕. 气候变化对长江中下游地区水稻生产的影响及适应性研究[D]. 北京:中国农业科学院,2006.
- [5] 朱邦辉,徐晓杰,徐玉峰,等. 施氮量对早熟晚粳武运梗30号产量及氮肥吸收利用的影响[J]. 浙江农业科学,2015,56(3):321-324.
- [6] 于林惠. 机插秧群体特征及定量栽培技术研究[D]. 南京:南京农业大学,2011.
- [7] 徐富贤,熊洪,张林,等. 南方稻区杂交中籼稻高产品种的库源结构及其优化调控规律研究进展[J]. 中国生态农业学报,2016,24(10):1285-1299.
- [8] 李旭毅. 两种生态条件下氮肥调控和栽培方式对水稻库源构建和光合生产及产量的影响[D]. 雅安:四川农业大学,2011.
- [9] 王惠芝. 氮素穗肥调控水稻颖花数形成的生理机制研究[D]. 南京:南京农业大学,2007.