



刘琳帅,王俊河,孙兴荣,等.寒地优质香稻新品种齐粳 10 的产量预测[J].黑龙江农业科学,2021(8):12-15.

# 寒地优质香稻新品种齐粳 10 的产量预测

刘琳帅<sup>1</sup>,王俊河<sup>2</sup>,孙兴荣<sup>1</sup>,王丽娜<sup>1</sup>,马 波<sup>2</sup>,谭可菲<sup>2</sup>,赵富阳<sup>2</sup>,卞景阳<sup>1</sup>

(1.黑龙江省农业科学院 大庆分院,黑龙江 大庆 163316;2.黑龙江省农业科学院 齐齐哈尔分院,黑龙江 齐齐哈尔 161006)

**摘要:**为揭示优质粳稻齐粳 10 孕穗期发育状况与成熟期稻米产量之间的关系,以粳稻品种齐粳 10 为试验材料,测定孕穗期植株高度、孕穗期分蘖以及孕穗期冠层叶 SPAD 值,并与产量相关性状进行相关性分析。结果表明:单株产量与孕穗期植株高度显著正相关,与孕穗期分蘖数、孕穗期顶部叶 SPAD 值呈极显著正相关。最终通过优化得出营养诊断值(NDC)和基于孕穗期营养诊断值的产量预测方程,即  $NDC = \text{株高} \times \text{分蘖数} \times SPAD^2 \div 10\,000$ ,单株产量(g) =  $8.9 \times NDC - 48.9$ ,决定系数为 0.795。

**关键词:**齐粳 10;SPAD 值;相关性;产量预测

水稻是中国最主要的口粮作物,65%以上的人口以稻米为主食<sup>[1]</sup>。据统计,2020 年我国水稻年均播种面积为  $3.008 \times 10^7 \text{ hm}^2$ <sup>[2]</sup>,如何科学利用水稻前期生长发育指标预测产量对稻米的稳产有着重要意义。20 世纪 80 年代日本美能达公司研制的叶绿素测量仪 SPAD-501、SPAD-502 可以根据植物叶片的叶绿素 a 以及叶绿素 b 对不同波段光各自的吸收特性,用一个具体的数值来体现叶片的绿色程度,即 SPAD 值,它有效克服了传统外观诊断的弊端如人类主观判断导致的误差。大量研究表明,作物在氮肥供应充足或者不足的情况下,都可以将作物叶片 SPAD 值作为氮素营养情况的判断依据,并且 SPAD 值与产量有直接关系<sup>[3-9]</sup>。SPAD 值与水稻长势的关联程度因品种不同存在差异,将 SPAD 值和植物发育程度指标用于营养诊断的研究较为常见,基于 SPAD 值、株高、分蘖情况有针对性地研究专一品种水稻产量预测的研究则鲜有报道。齐粳 10 适应区生育期 136 d 左右,需  $\geq 10^\circ\text{C}$  活动积温 2 500  $^\circ\text{C}$  左右,主茎 12 片叶,2019 年通过黑龙江省农作物品种审定委员会审定的优质、香型、耐冷的香稻新品种<sup>[10]</sup>。本研究希望通过测定孕穗期的生长指标与产量情况,优化营养诊断值的计算公式和基于

孕穗期营养诊断值的产量预测方程探索齐粳 10 的产量预测方法,为今后的齐粳 10 水稻生产和水稻育种提供借鉴。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

本研究选取粳稻品种齐粳 10 为试验材料,由黑龙江省农业科学院齐齐哈尔分院提供。

### 1.2 方法

1.2.1 试验设计 在黑龙江省农业科学院大庆分院红旗泡试验基地进行试验,试验地土壤肥力均匀,排灌设施良好。设置 3 个密度处理,D1 为 30 cm  $\times$  10 cm,D2 为 30 cm  $\times$  13 cm,D3 为 30 cm  $\times$  17 cm,每个密度处理 3 次重复,共计 9 个小区,小区随机排布,小区规格 50 m  $\times$  5 m,3 株插秧。试验田按照常规生产农田管理。

1.2.2 测定项目及方法 插秧后每个小区随机选取 10 穴并编号,于分蘖期(6 月 22 日)调查分蘖数、植株高度和 SPAD 值。每穴植株于冠层 4 片叶避开主叶脉随机取点测量 SPAD 值 40 次。于成熟期每小区选取长势一致的植株 3 穴贴地收割,进行室内考种。调查项目包括植株高度、有效穗数、穗长、每穗粒数、每穗实粒数、每穗瘪粒数、千粒重和单株穗重。

1.2.3 数据分析 使用 IBM SPSS Statistics 19 和 Excel 2016 软件对测定的数据进行分析及图表绘制。

## 2 结果与分析

### 2.1 产量性状的相关性分析

为了明确孕穗期的株高、分蘖等发育指标在

收稿日期:2021-02-18

基金项目:国家重点研发计划(2018FYD0300104,2017FYD0300107);黑龙江省农业科学院“农业科技创新跨越工程”专项(HNK2019CX02);黑龙江省农业科学院高效、绿色现代农业示范项目(TGY-2020-27)。

第一作者:刘琳帅(1987—),男,硕士,助理研究员,从事水稻育种、耕作栽培与气候变化研究。E-mail:lls1887@163.com。

通信作者:卞景阳(1980—),男,博士,副研究员,从事水稻育种、耕作栽培与盐碱地研究。E-mail:bjy19800926@163.com。

产量预测中的权重及指标选取的必要性,本研究将这些数据与产量构成数据进行相关性分析,由表 1 可知,单株产量与孕穗期植株高度和千粒重在 0.05 水平上显著正相关,与孕穗期分蘖数和孕穗期顶部叶 SPAD 值在 0.01 水平上极显著正相

关。说明孕穗期的株高、分蘖数及顶部叶 SPAD 值作为产量的预估算数据是可行的。由于千粒重的数值要等稻谷成熟才能得到,所以不能用于孕穗期的产量预测,在本次研究中不考虑此项指标。

表 1 测定指标的相关性分析

项目	株高	分蘖数	SPAD 值	千粒重	穗长	一次枝 梗数	二次枝 梗数	单株 产量	每穗实 粒数	每穗空 瘪粒数
分蘖数	0.487 *									
SPAD 值	0.158	0.324								
千粒重	0.362	0.369	0.348							
穗长	0.578 **	0.325	0.165	0.145						
一次枝梗数	-0.219	-0.478 **	-0.121	0.236	0.174					
二次枝梗数	0.234	0.125	0.311	-0.126	0.655 **	0.539 *				
单株产量	0.535 *	0.795 **	0.563 **	0.492 *	0.422	-0.154	0.361			
每穗实粒数	0	-0.066	0.461 *	-0.204	0.447 *	0.486 *	0.829 **	0.303		
每穗空瘪粒数	0.336	-0.076	-0.203	-0.160	0.554 *	0.628 **	0.628 **	0.085	0.297	
空瘪率	0.364	-0.054	-0.346	-0.080	0.454 *	0.512 *	0.413	0.024	0.023	0.959 **

注: \* 和 \*\* 代表在 0.05 和 0.01 水平(双侧)上呈显著相关。

2.2 孕穗期发育指标与单株产量的相关性分析

2.2.1 SPAD 值与单株产量的相关性 前期研究发现水稻叶片的 SPAD 值在不同的生育时期发生一定变化。本研究对孕穗期叶片 SPAD 值与单株产量进行了相关性分析,结果发现,孕穗期顶部叶片 SPAD 值与单株产量呈极显著正相关,相关系数为 0.563(表 1)。进一步拟合了孕穗期顶部叶片 SPAD 值与单株产量的线性相关图,其决定系数为 0.316 8(图 1)。研究结果表明,通过孕穗期的顶部叶片 SPAD 值可以推测成熟期的产量。

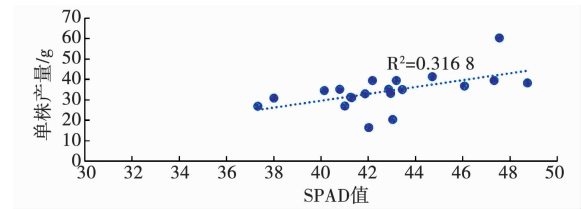


图 1 孕穗期 SPAD 值与单株产量的相关性分析

2.2.2 分蘖数与单株产量的相关性 已有研究表明分蘖直接决定有效穗数,并对每穗颖花数、结实率和千粒重有重要影响。本研究对孕穗期分蘖数值与单株产量进行了相关性分析,结果发现,孕穗

期分蘖数与单株产量呈极显著正相关,相关系数为 0.795(表 1)。进一步拟合了孕穗期分蘖数值与单株产量的线性相关图,决定系数为 0.632 6(图 2)。拟合程度较高,说明通过孕穗期的分蘖情况可以对最终的理论产量进行估测。

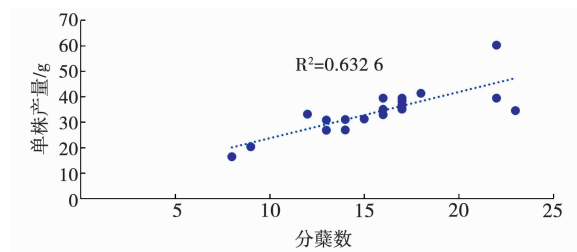


图 2 孕穗期分蘖数与单株产量的相关性分析

2.2.3 株高与单株产量的相关性 株高反映了水稻在特定时期的发育状况,是重要的农艺性状之一。本研究对孕穗期植株高度与单株产量进行了相关性分析,结果发现,孕穗期高度与单株产量呈显著正相关,相关系数为 0.535(表 1)。进一步拟合得到孕穗期植株高度与单株产量线性相关图,决定系数为 0.286 6(图 3)。研究结果说明可以用孕穗期植株高度推测产量。

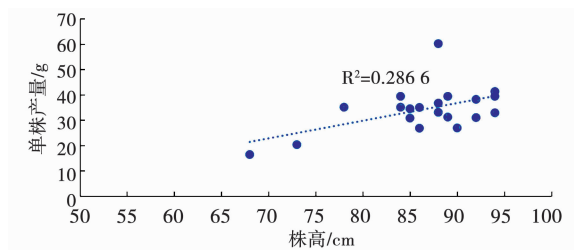


图 3 孕穗期株高与单株产量的相关性分析

## 2.3 营养诊断值及产量预测公式的确定

株高、分蘖数和 SPAD 值均与成熟期单株产量呈显著或极显著正相关,有研究表明采用相乘的方法可以放大最终营养诊断值(NDC, Nutritional Diagnostic Coefficient)与单株产量的相关性。所以株高 $\times$ 分蘖数 $\times$ SPAD 求得 NDC 值是可行的,NDC 与成熟期单株产量线性相关图决定系数为 0.766。结合本次研究的数据采用  $NDC = \text{株高} \times \text{分蘖数} \times \text{SPAD}^2 \div 10\,000$ 。将计算得出的孕穗期 NDC 与成熟期单株产量进一步拟合,得到线性相关图决定系数达到 0.795(图 4),是更为理想的拟合优度。试验结果说明通过孕穗期的数据,使用以上的营养诊断值公式计算得出的孕穗期 NDC 数值可以较好地预测齐梗 10 的成熟期单株产量。考虑到实际用于产量预测的便捷,单株产量预测方程使用趋势线的简化公式,即单株产量(g) =  $8.9 \times NDC - 48.9$ 。

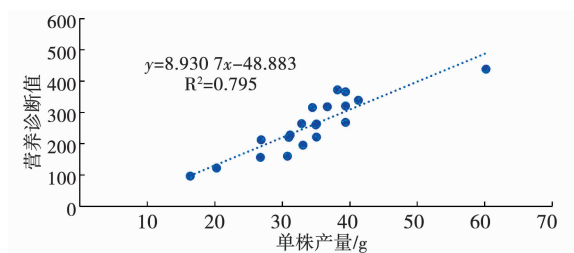


图 4 营养诊断值与单株产量的相关性分析

## 3 讨论

大量研究表明,水稻全生育期叶片的 SPAD 值与叶绿素含量、植株含氮量具均呈极显著正相关关系,可以将水稻叶片 SPAD 值作为氮素营养情况的判断依据<sup>[3-7]</sup>。叶片 SPAD 值用于作物产量预测也是可行的<sup>[11]</sup>。欧阳杰等<sup>[8]</sup>研究表明,水稻叶片 SPAD 值与产量有直接关系,且灌浆期叶片叶绿素浓度与穗粒重有较好的相关性。Black-

mer 等<sup>[9]</sup>研究指出,作物在氮肥供应充足或者不足的情况下,其叶片 SPAD 值与产量都有很好的相关性。有研究表明,水稻叶片 SPAD 值在生育期内会出现“高低”交替的变化趋势,拔节期、孕穗期、抽穗期、灌浆期、乳熟期冠层叶片 SPAD 均值和产量的二次函数决定系数( $R^2$ )分别是 0.82, 0.70, 0.79, 0.87 和 0.94,拟合程度随着生育进程的推进逐渐提高<sup>[12-15]</sup>。俞敏祎等<sup>[16]</sup>认为顶 4 叶相较其他叶片更能指示水稻植株氮质量分数。徐梅宣等<sup>[17]</sup>认为水稻主茎的顶 3 叶、顶 2 叶、顶 1 叶的 SPAD 平均值能很好地反映水稻氮素水平的变化,是水稻植株 SPAD 值的最佳测量指标。结合前人的观点,本研究测定冠层 4 片叶的 SPAD 值,并将株高和分蘖情况加入到最终产量的预测公式。用叶绿素仪测定叶片 SPAD 值时,测定样本数越大,SPAD 均值准确性越高。从工作效率和科学兼顾的原则确定测定样本数十分必要。本研究结合前期的工作,采用避开主叶脉随机取点每穴测量 SPAD 值 40 次。结果显示,孕穗期叶片 SPAD 值与单株产量的相关系数为 0.563,线性相关图决定系数为 0.316 8,与前人的研究结果不尽相同。

单独测量指标与产量的相关性低的原因可能是选择了较早的发育指标作为预测依据,预测精度会比使用生育中后期的数据低,但使用生育进程越晚的指标对于产量预测的意义就越小。所以本次研究采用孕穗期的发育指标,基于孕穗期营养诊断值得到梗稻品种齐梗 10 的产量预测方程为单株产量(g) =  $8.9 \times NDC - 48.9$ ,决定系数为 0.795。研究同时还发现取样 10 穴即可获得较为稳定的 SPAD 均值。因此,使用此方法对齐梗 10 进行产量预测时,测 10 穴较为适宜。本研究通过孕穗期的 SPAD 值、株高、分蘖数这 3 个与生长发育直接相关的指标相乘,放大其相关性得到营养诊断值。发现计算公式为  $NDC(\text{营养诊断值}) = \text{株高} \times \text{分蘖数} \times \text{SPAD}^2 \div 10\,000$  时得出的营养诊断值与单株产量线性相关决定系数最高,为何公式中的 SPAD 是二次方,而不是株高与分蘖数,还有待进一步研究。最后值得注意的是,产量预测回归方程式因品种而异。

4 结论

单株产量与孕穗期植株高度显著正相关,与孕穗期分蘖数、孕穗期顶部叶 SPAD 值呈极显著正相关。通过齐粳 10 孕穗期营养诊断值  $NDC = \text{株高} \times \text{分蘖数} \times \text{SPAD}^2 \div 10\ 000$ , 预测单株产量  $(g) = 8.9 \times NDC - 48.9$ , 决定系数为 0.795。

参考文献:

[1] 章秀福,王丹英,方福平,等.中国粮食安全和水稻生产[J].农业现代化研究,2005(2):85-88.

[2] 徐春春,纪龙,陈中督,等.2020 年我国水稻产业形势分析及 2021 年展望[J].中国稻米,2021,27(2):1-4.

[3] 李刚华,薛利红,尤娟,等.水稻氮素和叶绿素 SPAD 叶位分布特点及氮素诊断的叶位选择[J].中国农业科学,2007(6):1127-1134.

[4] 刘艳春.应用叶绿素仪对马铃薯氮素营养状况进行动态诊断[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2012.

[5] 赵黎明,解保胜,那永光,等.简述 SPAD-502 在水稻及其他作物上应用的研究进展[J].北方水稻,2015,45(1):72-76,80.

[6] 李志宏,刘宏斌,张云贵.叶绿素仪在氮肥推荐中的应用研究进展[J].植物营养与肥料学报,2006(1):125-132.

[7] 陈秋玉,黄影华,张华杰,等.不同生育期水稻叶片 SPAD 值与氮素指标相关关系[J].湖北农业科学,2020,59(17):19-24,27.

[8] 欧阳杰,王楚桃,何光华,等.水稻灌浆中后期功能叶中叶绿

素含量及其变化趋势与谷物产量关系研究[J].西南农业学报,2012,25(4):1201-1204.

[9] BLACKMER T M, SCHEPERS J S. Techniques for monitoring crop nitrogen status in corn[J]. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 1994, 25(9-10):66-71.

[10] 王俊河,刘传增,马波,等.寒地优质香稻齐粳 10 的选育及高产栽培技术[J].中国种业,2019(9):80-82.

[11] 杨虎.水稻冠层叶片氮素分布变化及氮营养状况快速诊断[D].杭州:浙江大学,2014.

[12] 杨海龙,杨佳恒,蔡金洋.不同施氮水平下水稻叶片 SPAD 变化趋势及其与产量的关系[J].浙江农业科学,2020,61(11):2200-2204.

[13] 姜继萍,杨京平,杨正超,等.不同氮素水平下水稻叶片及相邻叶位 SPAD 值变化特征[J].浙江大学学报(农业与生命科学版),2012,38(2):166-174.

[14] 李杰,冯跃华,王旭,等.水稻叶片 SPAD 值分布特征及其与施氮量的关系[J].南方农业学报,2017,48(1):38-45.

[15] 戈长水,方文英,应武,等.氮素对水稻冠层叶片 SPAD 值影响试验研究[J].农业科技通讯,2016(1):117-120.

[16] 俞敏祎,余凯凯,费聪,等.水稻冠层叶片 SPAD 数值变化特征及氮素营养诊断[J].浙江农林大学学报,2019,36(5):950-956.

[17] 徐梅宣,陈飞帆,彭效东.基于 SPAD 的水稻氮素含量测量指标及模型研究[J].现代农业装备,2019,40(6):55-60,80.

Yield Prediction of A New Fragrant Rice Variety  
Qijing 10 with High Quality in Cold Region

LIU Lin-shuai<sup>1</sup>, WANG Jun-he<sup>2</sup>, SUN Xing-rong<sup>1</sup>, WANG Li-na<sup>1</sup>, MA Bo<sup>2</sup>, TAN Ke-fei<sup>2</sup>,  
ZHAO Fu-yang<sup>2</sup>, BIAN Jing-yang<sup>1</sup>

(1. Daqing Branch, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Daqing 163316, China; 2. Qiqihar Branch, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Qiqihar 161006, China)

**Abstract:** In order to reveal the relationship between the development status of high quality *japonica* rice Qijing 10 at booting stage and the rice yield at maturity stage, this paper measured the plant height at booting stage, tillering at booting stage and SPAD value of canopy leaf at booting stage of Qijing 10, and analyzed the correlation with yield. The results showed that, the yield per plant was significantly positively correlated with the height of the plant at booting stage, the number of tillers at booting stage and the SPAD value of the top leaf at booting stage. Finally, the nutritional diagnosis value (NDC) and the yield prediction equation based on the nutritional diagnosis value at booting stage were obtained through optimization,  $NDC = \text{plant height} \times \text{tiller number} \times \text{SPAD}^2 \div 10\ 000$ , the yield prediction equation based on the nutritional diagnostic value at booting stage was finally fitted, the yield per plant  $(g) = 8.9 \times NDC - 48.9$ , and the determination coefficient was 0.795.

**Keywords:** Qijing 10; SPAD value; correlation; yield forecast