

赵考诚,叶 迎,马 军,等. 水稻花后叶片 SPAD 值动态模型与特征分析[J]. 江苏农业科学,2021,49(16):74-80.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2021.16.012

水稻花后叶片 SPAD 值动态模型与特征分析

赵考诚,叶 迎,马 军,钱天陈,黄丽芬,庄恒扬

(扬州大学江苏省作物遗传生理国家重点实验室培育点/粮食作物现代产业技术协同创新中心,江苏扬州 225009)

摘要:叶绿素含量影响水稻的各种生理机能,供氮水平影响水稻的产量,探究水稻花后叶片相对叶绿素含量与不同供氮水平二者间的关系,为高产绿色栽培提供参考。采用淮稻 5 号、扬粳 4227、常优 5 号、甬优 8 号 4 个水稻代表性品种,设计低(N1)、中(N2)、高(N3)3 个氮素水平,每隔 7 d 测定水稻上 3 叶的 SPAD 值,利用倒 Logistic 数学模型,分析特征参数。结果表明,供氮水平的提高可减缓水稻上 3 叶叶绿素流失速率;倒 3 叶对土壤氮素供应反应敏感,可视作反映水稻氮素营养状况的指示叶;在不同供氮水平下 4 种水稻品种花后上 3 叶 SPAD 值变化曲线均符合倒“S”形分布,其中常优 5 号中供氮水平更为符合;4 种水稻品种在相同氮素处理下的倒 3 叶渐降期、快降期、缓降期时间和最大速率点相似。

关键词:水稻;花后期;SPAD 值;动态模型;叶绿素含量

中图分类号: S511.01 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2021)16-0074-06

水稻(*Oryza sativa* L.)籽粒灌浆 60%~80% 的营养物质由叶片的光合作用提供^[1],水稻花后叶片开始衰老,功能叶面积萎缩与叶绿素含量下降不利于光合作用产物的积累,进而抑制结实率的提高与稻米品质的提升^[2-5];而前期(基肥、分蘖肥、穗肥)供氮不善致使水稻叶片叶绿素含量降低,进而叶片光合作用减弱,最终影响水稻产量^[6]。与植物组织分析方法^[7]或光谱遥感方法^[8]相比,使用 SPAD-502 型叶绿素仪^[9]可获得植物叶片相对叶绿素含量,并称之为 SPAD 值。建立在以 SPAD 值为基础上的水稻供氮模型可用于诊断作物氮素营养丰歉并以此优化施氮策略^[10-11],因而 SPAD 值与作物氮素营养水平具有一定的相关性^[12-16]。李刚华等研究表明,倒 3 叶可作为较为理想的指示叶诊断水稻氮素营养状况^[17]。依据 SPAD-502 型叶绿素计测定数值结果表明,水稻叶片在抽穗期 SPAD 值最高,拔节期次之,成熟期最低,抽穗期与成熟期间具有显著差异,在此 3 个生育周期中均可以倒 3 叶 SPAD 值至倒 4 叶 SPAD 值为参数判定供氮是否合理,且水稻叶片含氮量与 SPAD 值呈显著线性相关

性^[18-20]。水稻叶片倒 3 叶与倒 4 叶色差可用于断定水稻供氮的丰歉^[21],且与供氮水平存在显著相关性^[22]。而(倒 3 叶 SPAD 值×倒 4 叶 SPAD 值)/顶部 4 张叶片平均 SPAD 值所得参数与实际稻田表观供氮量之间呈显著线性相关性^[15]。通过测定水稻拔节期到孕穗期叶片 SPAD 值动态变化和叶片形状进而建立氮素诊断模型,为在该剩余周期内的水稻氮素营养诊断给出全新的参考^[23]。前人对多个品种水稻叶片 SPAD 值动态变化及建立数学模型的研究较少,尤其关于水稻花后叶片 SPAD 值动态变化及相关数学模型的研究罕见报道。本研究选取 4 个水稻品种,通过不同叶位 SPAD 值建立倒 Logistic 模型,偏重水稻花后比较同株水稻不同叶位叶片的 SPAD 值分布及变化趋势,以期验证前期施肥次数与用量的合理性,为提高水稻结实率并为改善稻米品质的研究提供科学参考。

1 材料与方法

1.1 试验设计

田间试验于 2015 年 6—11 月在江苏省扬州市扬州大学农学院试验农场(119°42'E,32°39'N)进行,试验地为亚热带季风气候,年平均气温为 16.13℃,年平均降水量为 1 005 mm,年平均日照时数为 2 305.6 h,无霜期为 227 d。试验土壤类型为沙壤土,土壤有机质含量为 19.07 g/kg,全氮含量为 1.35 g/kg,碱解氮含量为 82.60 mg/kg,有效磷含量

收稿日期:2021-03-16

基金项目:国家自然科学基金(编号:31571596)。

作者简介:赵考诚(1995—),男,江苏徐州人,硕士研究生,主要从事作物生态与栽培管理研究。E-mail:981109108@qq.com。

通信作者:庄恒扬,博士,教授,博士生导师,主要从事农业信息技术与作物生长模拟研究。E-mail:zhy7979356@sina.com。

为 24.44 mg/kg,速效钾含量为 85.20 mg/kg。

试验设 180、270、360 kg/hm² 3 个施氮水平,分别用 N1、N2、N3 表示,采用淮稻 5 号(迟熟中粳)、扬粳 4227(早熟晚粳)、常优 5 号(杂交晚粳)、甬优 8 号(杂交晚粳)4 个水稻品种,共 12 个处理。试验采用裂区设计,施氮量为主区,品种为副区。主区长为 7.8 m、宽为 6.6 m、面积为 51.5 m²。供试氮肥为尿素,氮素运筹方式为基肥、第 1 次分蘖肥(栽后 7 d)、第 2 次分蘖肥(栽后 14 d)、促花肥(以淮稻 5 号生育进程为准)、保花肥(以淮稻 5 号生育进程为准)施用比例为 3.0 : 1.5 : 1.5 : 2.5 : 1.5。每小区施过磷酸钙 450 kg/hm²,氯化钾 150 kg/hm²。水稻 5 月 29 日浸种,6 月 2 日播种,6 月 18 日移栽,移栽前施基肥。整个试验过程控制好合理的田间水量,非特殊情况不刻意排灌水,其他措施同一般大田管理。

1.2 测定项目及方法

1.2.1 叶片 SPAD 值测定 从水稻齐穗期始,每隔 7 d 使用 SPAD-502 型叶绿素仪对植株上 3 叶进行 SPAD 值测定,直至各品种水稻成熟收获。每个处理小区随机测定 10 株健康主茎剑叶、倒 2 叶及倒 3 叶 3 张全展叶片,每张叶片上部 1/3 处、中部和下部 1/3 处为测定点,3 个测定点 SPAD 值的平均值代表该张叶片的 SPAD 值。

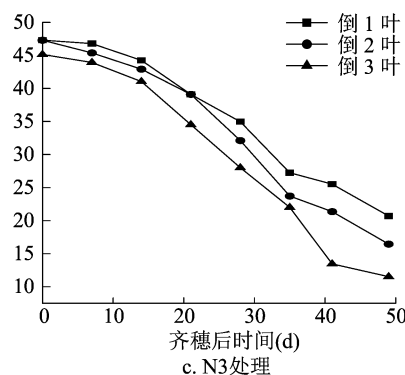
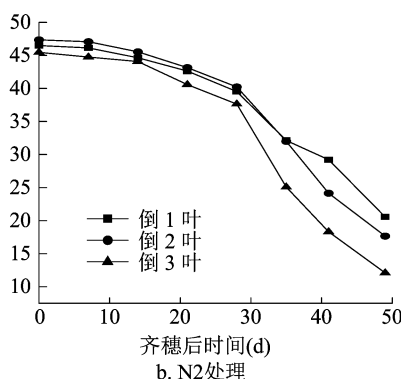
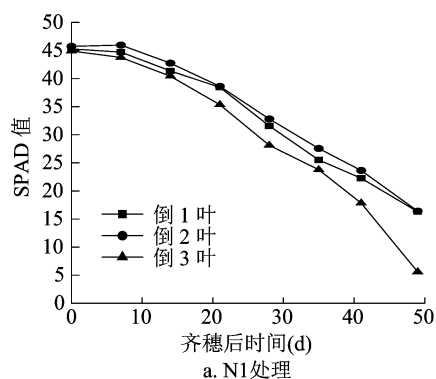


图1 淮稻 5 号低中高供氮水平下 3 张叶片的 SPAD 值动态趋势

2.1.2 不同供氮水平下扬粳 4227 花后上 3 叶 SPAD 值动态变化 由图 2 可知,不同供氮水平下扬粳 4227 花后上 3 叶 SPAD 值总体呈现下降趋势,但低供氮水平下降速率较中、高供氮水平快。表明供氮水平的提高可减缓扬粳 4227 上 3 叶叶绿素流失速率。从相同供氮水平不同叶位分析,各供氮水平下均是倒 3 叶 SPAD 值低于倒 2 叶与倒 1 叶(中供氮水平花后 21d、高供氮水平花后 7 d 除外),且

1.2.2 数据分析 运用 Microsoft Excel 2013 制表、SPSS IBM 24.0 进行数据分析,采用 Origin 2018 作图。

2 结果与分析

2.1 不同供氮水平下 4 种水稻品种花后上 3 叶 SPAD 值动态变化

2.1.1 不同供氮水平下淮稻 5 号花后上 3 叶 SPAD 值动态变化 由图 1 可知,不同供氮水平下淮稻 5 号花后上 3 叶 SPAD 值总体呈现下降趋势,但低供氮水平下降速率较中、高供氮水平快。表明供氮水平的提高可减缓淮稻 5 号上 3 叶叶绿素流失速率。从相同供氮水平不同叶位分析,每种供氮水平下均是倒 3 叶 SPAD 值低于倒 2 叶与倒 1 叶,且下降幅度均大于倒 2 叶与倒 1 叶。表明倒 3 叶对土壤氮素供应反应敏感,可视为反映淮稻 5 号氮素营养状况的指示叶。从同一叶位不同供氮水平分析,随供氮水平提高倒 1 叶 SPAD 值逐步超过倒 2 叶 SPAD 值。表明可比较淮稻 5 号花后倒 1 叶 SPAD 值与倒 2 叶 SPAD 值判定田块氮素含量的高低(倒 1 叶 SPAD 值 > 倒 2 叶 SPAD 值即所在田块供氮水平高)。在低、中、高 3 种供氮水平下淮稻 5 号上 3 叶 SPAD 值的变化曲线符合倒“S”形分布。

下降幅度均大于倒 2 叶与倒 1 叶。表明倒 3 叶对土壤氮素供应反应敏感,可视为反映扬粳 4227 氮素营养状况的指示叶。从同一叶位不同供氮水平分析,随供氮水平的提高倒 1 叶 SPAD 值逐步超过倒 2 叶 SPAD 值。表明可比较扬粳 4227 花后倒 1 叶 SPAD 值与倒 2 叶 SPAD 值来判定田块氮素含量的高低(同淮稻 5 号)。在低、中、高 3 种供氮水平下扬粳 4227 上 3 叶 SPAD 值变化曲线符合倒“S”形分布。

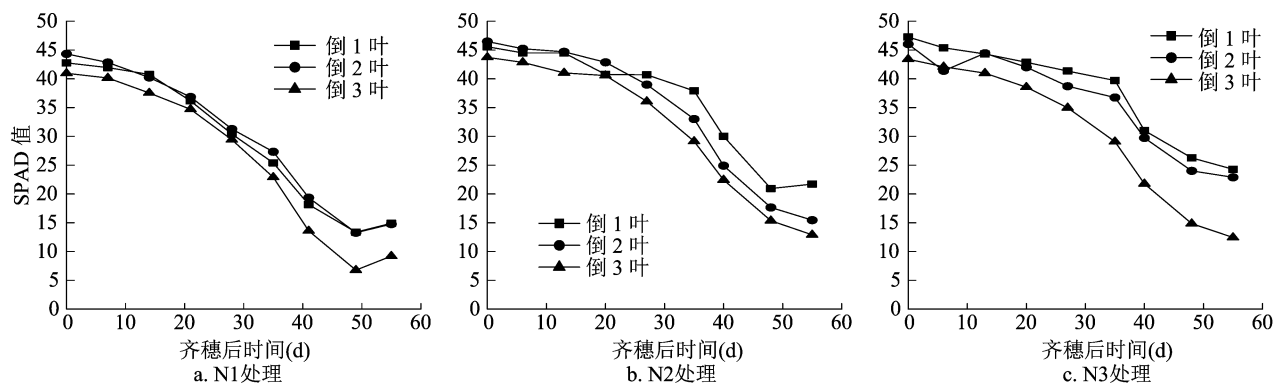


图2 扬粳 4227 低中高供氮水平下 3 张叶片的 SPAD 值动态趋势

2.1.3 不同供氮水平下常优 5 号花后上 3 叶 SPAD 值动态变化 由图 3 可知,不同供氮水平下常优 5 号花后上 3 叶 SPAD 值总体呈现下降趋势,但低供氮水平下降速率较中、高供氮水平快。表明供氮水平的提高可减缓常优 5 号上 3 叶叶绿素流失速率。从相同供氮水平不同叶位分析,各供氮水平下大多是倒 3 叶 SPAD 值低于倒 2 叶与倒 1 叶(低供氮水平花后 28 d、中供氮水平花后 7、14 d 除外),且下降

幅度均大于倒 2 叶与倒 1 叶。表明倒 3 叶对土壤氮素供应反应敏感,可视为反映常优 5 号氮素营养状况的指示叶。从同一叶位不同供氮水平分析,随供氮水平提高并未出现与淮稻 5 号、扬粳 4227 相似的倒 1 叶 SPAD 值逐步超过倒 2 叶 SPAD 值的变化规律。在低、中、高 3 种供氮水平下常优 5 号上 3 叶 SPAD 值变化曲线符合倒“S”形分布。

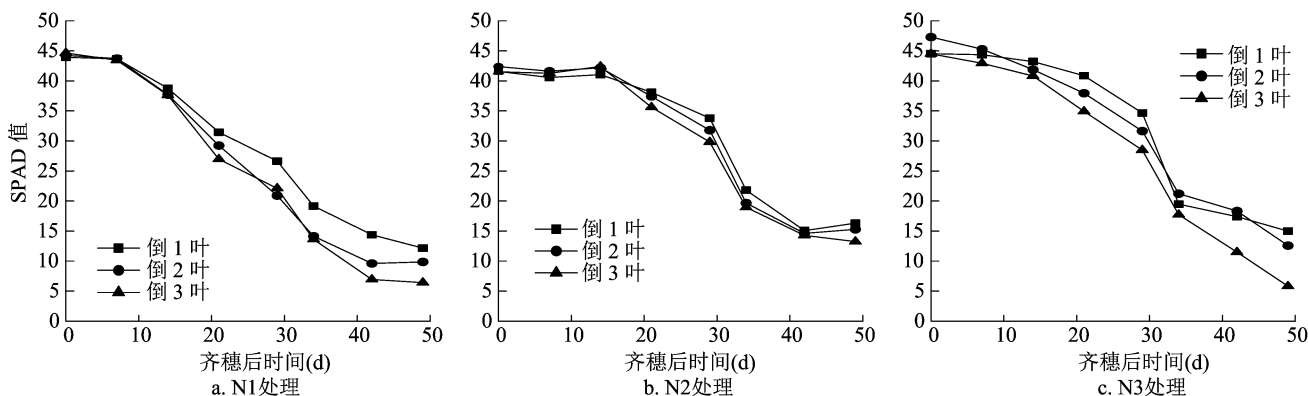


图3 常优 5 号低中高供氮水平上 3 叶 SPAD 值动态趋势

2.1.4 不同供氮水平下甬优 8 号花后上 3 叶 SPAD 值动态变化 由图 4 可见,不同供氮水平下甬优 8 号花后上 3 叶 SPAD 值总体呈现下降趋势,但低供氮水平下降速率较中、高供氮水平快。表明供氮水平的提高可减缓甬优 8 号上 3 叶叶绿素流失速率。从相同供氮水平不同叶位分析,各供氮水平下均是倒 3 叶 SPAD 值低于倒 2 叶与倒 1 叶(低供氮水平花后 0、7、14 d,中供氮水平花后 28 d 以前),且下降幅度均大于倒 2 叶与倒 1 叶。表明倒 3 叶对土壤氮素供应反应敏感,可视为反映甬优 8 号氮素营养状况的指示叶。从同一叶位不同供氮水平分析,随供氮水平的提高,并未出现与淮稻 5 号、扬粳 4227 相似的倒 1 叶 SPAD 值逐步超过倒 2 叶 SPAD 值的变化规律,但与常优 5 号有着相似的变化。在低、中、

高 3 种供氮水平下甬优 8 号上 3 叶 SPAD 值变化曲线符合倒“S”形分布。

2.1.5 不同供氮水平下 4 种水稻品种花后上 3 叶 SPAD 值动态变化小结 不论何种供氮水平下 4 种水稻品种花后上 3 叶 SPAD 值总体呈现下降趋势,但低供氮水平下降速率较中、高供氮水平快。表明供氮水平的提高可减缓水稻上 3 叶叶绿素流失速率。从相同供氮水平不同叶位分析,除个别品种不同花后时间点会有出入,但总体呈现出各供氮水平下倒 3 叶 SPAD 值低于倒 2 叶与倒 1 叶,且下降幅度均大于倒 2 叶与倒 1 叶。表明倒 3 叶对土壤氮素供应的反应敏感,可视为反映水稻氮素营养状况的指示叶。从同一叶位不同供氮水平分析,杂交晚粳(常优 5 号、甬优 8 号)并未出现与普通粳稻(淮稻 5

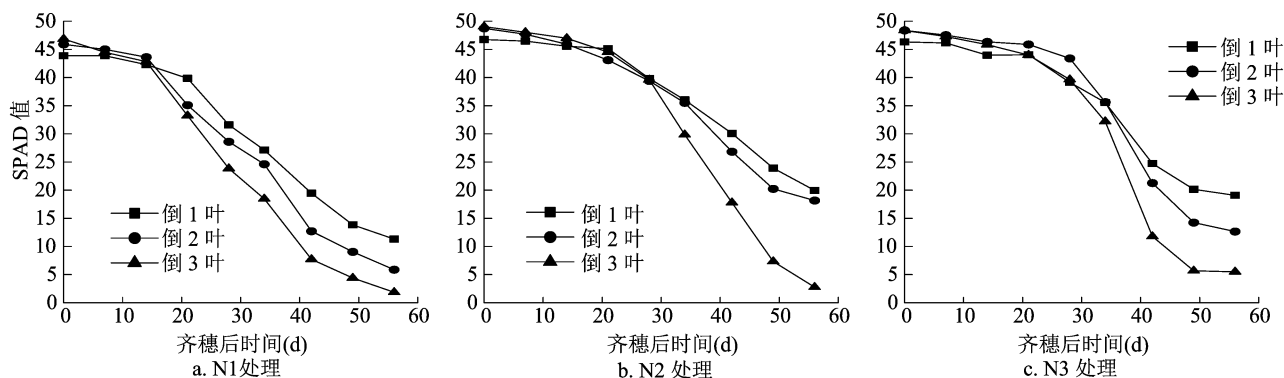


图4 甬优8号低中高供氮水平下3张叶片的SPAD值动态趋势

号、扬粳4227)相似的变化规律:随供氮水平提高倒1叶SPAD值逐步超过倒2叶SPAD值。推测原因在于水稻品种差异。在不同供氮水平下4种水稻品种花后上3叶SPAD值变化曲线均符合倒“S”形分布,其中常优5号中供氮水平更为符合。

2.2 水稻花后上3叶SPAD值动态模型建立及参数分析

水稻抽穗后叶片SPAD值呈倒“S”形分布,故此次研究用倒Logistic模型对SPAD值进行拟合,倒Logistic数学表达式为^[24]

$$y = c - \frac{k}{1 + ae^{-bx}} \quad (1)$$

式中: y 为SPAD值; x 为抽穗后时间; k 、 a 、 b 、 c 为参数,其中 k 为水稻齐穗后最大SPAD值, b 为相对速率。对式(1)求一阶导数:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{kabe^{-bx}}{(1 + ae^{-bx})^2} \quad (2)$$

式(2)为生长速率相对于 x 的函数。对式(2)求二阶导,并令其为0,则可得生长速率的2个拐点,令其为 t_1 、 t_2 , t_1 、 t_2 分别为

$$t_1 = -\frac{\ln\left(\frac{2+\sqrt{3}}{a}\right)}{b};$$

$$t_2 = -\frac{\ln\left(\frac{2-\sqrt{3}}{a}\right)}{b}.$$

根据生长速率的2个拐点时间,可以将“S”形曲线分为3个时期,即渐降期、快降期、缓降期。

对式(1)求二阶导数:

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{kabe^{-bx}(abe^{-bx} - b)}{(1 + ae^{-bx})^3} \quad (3)$$

对于式(3),当 $\frac{d^2y}{dx^2} = 0$, $x = \ln \frac{a}{b}$,此时 $y = \frac{k}{2}$ 。

因此可知 Logistic 曲线存在一拐点 $\left(\ln \frac{a}{b}, \frac{k}{2}\right)$, $\ln \frac{a}{b}$

即可看作生长量为最终生长量一半时的时间,此时达到最大速率, $V_{\max} = \frac{kb}{4}$,令 x 为拐点的横坐标。

对不同处理齐穗后倒1叶、倒2叶和倒3叶SPAD值采用倒Logistic方程拟合,得到方程和特征参数,特征参数对应式(1)里的 c 、 k 、 a 、 b (表1)。 t_1 、 t_2 将齐穗后天数分割为:(0, t_1)为SPAD值渐降期, (t_1 , t_2)为SPAD值快降期, (t_2 , 成熟收获)为SPAD值缓降期。将各自品种3种氮素水平的 t_1 和 t_2 分别取平均数以此对比可知,常优5号率先进入快降期,其次是淮稻5号,然后是甬优8号,最后是扬粳4227;进入缓降期首先是常优5号,其次是甬优8号,然后是淮稻5号,最后是扬粳4227(图5)。 t_2 与 t_1 的差值为快降期持续时间,各自水稻品种随供氮水平提升呈现出持续时间整体降低的趋势,表明供氮越多叶片迅速下降的时间越短。

3 讨论与结论

本试验测定了水稻倒1至倒3叶的SPAD值,研究其SPAD值与氮素吸收分配的关系,结果表明,无论在何种施氮水平下,水稻花后叶片SPAD值呈现明显的下降趋势,为倒“S”形。氮肥供给重心转移至稻穗的形成和籽粒发育期,并且不同部位叶片对氮的竞争能力不同^[25],靠近根部叶位的SPAD值也率先减小^[26],下叶位的叶片对氮素的敏感程度比上叶位高。在本试验中,主茎功能叶的倒3叶对氮素反应最为敏感,应把倒3叶用做判断水稻氮素丰缺状况的理想指示叶。同时还可以看出,相对低施氮处理的植株,较高施氮水平的处理对水稻不同叶位之间的SPAD值差异影响小。不同氮素水平的水稻收获结实时的SPAD值略有差别,具体排序为N2处理>N3处理>N1处理。氮素缺失会导致作物显著早衰并早熟,产量降低;而氮素过剩则会导致推迟

表 1 抽穗后叶片 SPAD 值动态拟合方程及特征参数

品种	供氮水平	叶位	拟合方程	r^2	t_1 (d)	t_2 (d)	x (d)
淮稻 5 号	低氮	倒 1 叶	$y = 47.14 - 35.54 / (1 + 22.70 \times e^{-0.10x})$	0.85**	18.05	44.39	31.22
		倒 2 叶	$y = 49.01 - 42.80 / (1 + 16.93 \times e^{-0.08x})$	0.85**	18.90	51.83	35.37
		倒 3 叶	$y = 47.69 - 37.42 / (1 + 15.09 \times e^{-0.10x})$	0.94**	14.55	41.99	28.27
	中氮	倒 1 叶	$y = 47.39 - 40.08 / (1 + 52.70 \times e^{-0.10x})$	0.92**	27.87	55.59	41.73
		倒 2 叶	$y = 47.39 - 32.74 / (1 + 148.84 \times e^{-0.14x})$	0.85**	26.71	45.80	36.25
		倒 3 叶	$y = 46.19 - 32.80 / (1 + 51.73 \times e^{-0.11x})$	0.88**	24.57	49.19	36.88
	高氮	倒 1 叶	$y = 51.83 - 66.44 / (1 + 16.68 \times e^{-0.06x})$	0.87**	18.00	35.63	31.39
		倒 2 叶	$y = 47.42 - 30.95 / (1 + 47.56 \times e^{-0.14x})$	0.81**	18.31	37.26	27.79
		倒 3 叶	$y = 46.10 - 30.56 / (1 + 35.07 \times e^{-0.14x})$	0.84**	15.67	34.09	24.88
扬粳 4227	低氮	倒 1 叶	$y = 43.35 - 31.17 / (1 + 47.88 \times e^{-0.13x})$	0.88**	20.09	40.83	30.46
		倒 2 叶	$y = 44.88 - 34.42 / (1 + 29.49 \times e^{-0.11x})$	0.88**	19.32	43.93	31.63
		倒 3 叶	$y = 40.43 - 34.80 / (1 + 101.25 \times e^{-0.14x})$	0.91**	23.41	42.09	32.75
	中氮	倒 1 叶	$y = 43.72 - 21.73 / (1 + 88.06 \times e^{-0.24x})$	0.82**	32.49	43.52	38.00
		倒 2 叶	$y = 46.18 - 29.28 / (1 + 131.77 \times e^{-0.14x})$	0.87**	25.64	44.59	35.12
		倒 3 叶	$y = 43.34 - 29.44 / (1 + 112.87 \times e^{-0.13x})$	0.83**	26.21	46.49	36.88
	高氮	倒 1 叶	$y = 44.85 - 24.83 / (1 + 52.16 \times e^{-0.22x})$	0.82**	29.38	45.51	39.45
		倒 2 叶	$y = 46.01 - 28.29 / (1 + 69.26 \times e^{-0.11x})$	0.82**	25.85	49.16	27.79
		倒 3 叶	$y = 43.29 - 27.33 / (1 + 59.56 \times e^{-0.12x})$	0.82**	22.71	44.30	33.50
常优 5 号	低氮	倒 1 叶	$y = 46.65 - 37.43 / (1 + 17.40 \times e^{-0.11x})$	0.92**	14.00	37.94	25.97
		倒 2 叶	$y = 46.19 - 38.01 / (1 + 26.80 \times e^{-0.14x})$	0.94**	13.79	32.20	23.00
		倒 3 叶	$y = 48.38 - 45.50 / (1 + 14.14 \times e^{-0.11x})$	0.91**	12.00	36.00	24.08
	中氮	倒 1 叶	$y = 40.41 - 23.27 / (1 + 12.77 \times 10^5 \times e^{-0.45x})$	0.83**	28.07	33.87	30.97
		倒 2 叶	$y = 41.43 - 26.98 / (1 + 1587.101 \times e^{-0.32x})$	0.91**	26.08	34.26	30.17
		倒 3 叶	$y = 41.67 - 29.16 / (1 + 679.38 \times e^{-0.22x})$	0.80**	23.55	35.47	29.51
	高氮	倒 1 叶	$y = 43.21 - 24.47 / (1 + 13.33 \times 10^9 \times e^{-0.78x})$	0.79**	21.09	33.46	29.77
		倒 2 叶	$y = 48.03 - 38.78 / (1 + 31.51 \times e^{-0.12x})$	0.87**	18.38	41.10	27.74
		倒 3 叶	$y = 45.04 - 43.02 / (1 + 52.64 \times e^{-0.13x})$	0.80**	20.84	41.58	31.21
甬优 8 号	低氮	倒 1 叶	$y = 45.00 - 35.26 / (1 + 61.97 \times e^{-0.12x})$	0.92**	22.84	45.55	32.11
		倒 2 叶	$y = 48.24 - 42.36 / (1 + 24.36 \times e^{-0.11x})$	0.93**	17.70	42.55	30.12
		倒 3 叶	$y = 48.05 - 40.54 / (1 + 32.12 \times e^{-0.13x})$	0.90**	23.08	37.92	28.09
	中氮	倒 1 叶	$y = 53.37 - 38.02 / (1 + 62.64 \times e^{-0.03x})$	0.81**	20.35	40.35	32.02
		倒 2 叶	$y = 45.04 - 43.02 / (1 + 52.64 \times e^{-0.17x})$	0.92**	24.46	48.85	36.66
		倒 3 叶	$y = 49.23 - 40.65 / (1 + 108.75 \times e^{-0.13x})$	0.94**	26.34	46.92	36.63
	高氮	倒 1 叶	$y = 46.02 - 20.51 / (1 + 223.46 \times e^{-0.16x})$	0.81**	24.95	41.01	32.98
		倒 2 叶	$y = 47.17 - 28.44 / (1 + 172.00 \times e^{-0.28x})$	0.87**	30.34	39.82	35.08
		倒 3 叶	$y = 47.30 - 32.31 / (1 + 619.17 \times e^{-0.19x})$	0.92**	31.17	41.20	34.13

注：* 代表在 0.05 水平上显著，** 代表在 0.01 水平上显著。

成熟,叶呈浓绿色,谷粒不饱满,秕粒多^[27]。低氮(N1)水平由于前中期氮肥供应不足,导致植株生长缓慢、矮小,抽穗早而不齐,过于早衰;高氮(N3)水平由于氮素的过量施用,叶绿素数量增多,为使稻叶更长久地保持绿色,所以表现出延长生育期、贪青晚熟的趋势。所以中氮水平(N2)为本试验中最

理想的施氮水平,既提高了水稻产量,也提升了稻米品质^[28-29]。本研究着重在水稻花后的 SPAD 值变化,发现处于不同叶位的叶片生理状况和物理特征有所不同,这可能会对 SPAD 值产生影响^[30]。在诊断水稻氮素营养时,选择哪些叶位测定,如何克服品种不同的影响及不同生长时期的差异尚需探

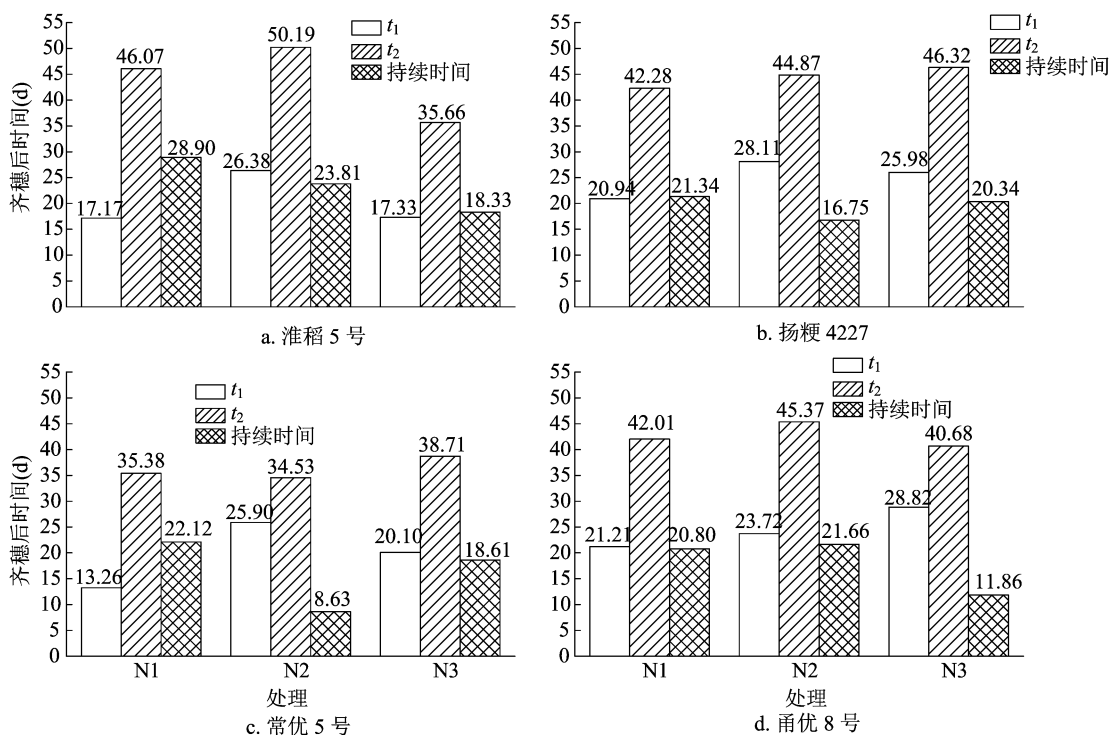


图5 不同处理下不同水稻品种叶片 SPAD 值快降期时间

讨^[31-32]。本研究结果仅是对江苏省中部地区 4 个水稻品种花后的 SPAD 值的归纳。今后应扩大研究,建立不同稻区、不同品种类型生育各期叶片 SPAD 值的动态模型,进一步检验该诊断方法的应用价值,丰富完善指标值。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] Wang Y W, Xu C, Lv C F, et al. Chlorophyll a fluorescence analysis of high-yield rice (*Oryza sativa* L.) LYPJ during leaf senescence[J]. Photosynthetica, 2016, 54(3): 422-429.
- [4] 翟荣荣,冯跃,曹立勇,等. 水稻叶片衰老研究进展[J]. 中国稻米, 2011, 17(1): 7-12.
- [5] 李可,禹晴,徐云姬,等. 水稻叶片早衰突变体的农艺与生理性状研究进展[J]. 中国水稻科学, 2020, 34(2): 104-114.
- [6] Zhao D L, Oosterhuis D M, Zhao D L. Nitrogen application effect on leaf photosynthesis, nonstructural carbohydrate concentrations and yield of field-grown cotton[J]. Special Report - Arkansas Agricultural Experiment Station, 2000(3): 69-71.
- [7] Lemaire G. Diagnosis of the nitrogen status in crops[M]. Berlin: Springer, 1997.
- [8] 王鑫,王梓檀,尤文强,等. 利用叶片正反面反射光谱估算叶绿

素含量[J]. 光谱学与光谱分析, 2018, 38(8): 2524-2528.

- [9] Markwell J, Osterman J C, Mitchell J L. Calibration of the minolta SPAD-502 leaf chlorophyll meter[J]. Photosynthesis Research, 1995, 46(3): 467-472.
- [10] 李杰,冯跃华,牟桂婷,等. 基于 SPAD 值的水稻施氮值模型构建及应用效果[J]. 中国农业科学, 2017, 50(24): 4714-4724.
- [11] Aarngui L M, Lasa B, Lafarga A, et al. Evaluation of chlorophyll meters as tools for N fertilization in winter wheat under humid Mediterranean conditions[J]. European Journal of Agronomy, 2005, 24(2): 140-148.
- [12] Errcart P M, Agnusdei M G, Lattanzi F A, et al. Leaf nitrogen concentration and chlorophyll meter readings as predictors of tall fescue nitrogen nutrition status[J]. Field Crops Research, 2012, 129: 46-58.
- [13] Yang H, Yang J, Lv Y, et al. Spad values and nitrogen nutrition index for the evaluation of rice nitrogen status[J]. Plant Production Science, 2014, 17(1): 81-92.
- [14] Ziadi N, Brassard M, Belanger G, et al. Chlorophyll measurements and Nitrogen nutrition index for the evaluation of corn nitrogen status[J]. Agronomy Journal, 2008, 100(5): 2275-2279.
- [15] Prost L, Jeuffroy M H. Replacing the nitrogen nutrition index by the chlorophyll meter to assess wheat N status[J]. Agronomy for Sustainable Development, 2007, 27(4): 321-330.
- [16] Hawkins J A, Sawyer J E, Barker D W, et al. Using relative chlorophyll meter values to determine nitrogen application rates for corn[J]. Agronomy Journal, 2007, 99(4): 1034-1040.
- [17] 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, 40(6): 1127-1134.

付朝晋,王红春,张善学,等. 新型植物诱抗剂 12% 寡糖·香草硫缩病醚微乳剂对水稻幼苗生长的影响[J]. 江苏农业科学,2021,49(16):80-83.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2021.16.013

新型植物诱抗剂 12% 寡糖·香草硫缩病醚微乳剂 对水稻幼苗生长的影响

付朝晋¹, 王红春², 张善学^{3,4}, 金林红³, 陈俊敏¹, 王 可², 姜远来²

(1. 南京农业大学植物保护学院, 江苏南京 210095; 2. 江苏省农业科学院植物保护研究所, 江苏南京 210014;

3. 贵州大学精细化工研发中心, 贵州贵阳 550025; 4. 海南正业中农高科股份有限公司, 海南海口 570206)

摘要:采用室内整株生测法测定 12% 寡糖·香草硫缩病醚微乳剂(ME)浸种、水培及茎叶喷雾处理对水稻幼苗生长的影响。结果表明,在 12% 寡糖·香草硫缩病醚微乳剂 75、100 mg/L 浸种处理下,南梗 9108、玉珍香的株高、地上部鲜质量均明显高于清水对照,浸种处理南梗 9108 的株高、地上部鲜质量与清水对照间差异极显著;用 12% 寡糖·香草硫缩病醚微乳剂 450 mL/hm² 茎叶喷雾处理 2~3 叶期南梗 9108 或玉珍香,稻苗的株高、地上部鲜质量均显著高于清水对照。

关键词:寡糖·香草硫缩病醚;水稻幼苗;促生作用;氨基寡糖素

中图分类号: S511.01 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2021)16-0080-04

香草硫缩病醚是基于香草醛的生物安全性、结构的简单性、广泛的生物活性及二硫缩醛的广泛生物活性和生物相融性而合成的香草醛衍生物^[1]。

收稿日期:2020-11-21

基金项目:国家重点研发计划(编号:2018YFD0200104)。

作者简介:付朝晋(1995—),男,河北衡水人,硕士研究生,主要从事杂草科学与除草剂应用研究。E-mail:zwbhfcj@163.com。

通信作者:王红春,博士,副研究员,主要从事杂草科学与除草剂应用研究。E-mail:hongchun023@126.com。

香草醛及其衍生物被大量用于生产医药中间体,也被用于制作植物生长促进剂、杀菌剂、润滑油消泡剂、电镀光亮剂、印制线路板生产导电剂、食品添加剂等^[2]。前期研究发现,香草硫缩病醚对马铃薯 Y 病毒、黄瓜花叶病毒、水稻条纹叶枯病毒、水稻黑条矮缩病毒等均具有较好的治疗和保活活性,且对部分作物具有一定的促生效果^[3]。氨基寡糖素是从海洋虾、蟹等壳类物质中提取出来的一种物质,是经加工得到的多糖类天然碳水化合物,可激发植物

[18]李 杰. 基于 SPAD 值的水稻变量施氮模型及其应用研究[D]. 贵阳:贵州大学,2017.

[19]李刚华,丁艳锋,薛利红,等. 利用叶绿素计(SPAD-502)诊断水稻氮素营养和推荐追肥的研究进展[J]. 植物营养与肥料学报,2005,11(3):412-416.

[20]张金恒,王 珂,王人潮. 叶绿素计 SPAD-502 在水稻氮素营养诊断中的应用[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2003,31(2):177-180.

[21]凌启鸿,王绍华,丁艳锋,等. 关于用水稻“顶 3 顶 4 叶叶色差”作为高产群体叶色诊断统一指标的再论证[J]. 中国农业科学,2017,50(24):4705-4713.

[22]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.

[23]袁召锋. 基于 SPAD 值的水稻氮素营养诊断与调控研究[D]. 南京:南京农业大学,2016.

[24]朱庆森,曹显祖,骆亦其. 水稻籽粒灌浆的生长分析[J]. 作物学报,1988(3):182-193.

[25]史瑞和. 植物营养原理[M]. 南京:江苏科学技术出版社,1989.

[26]姜继萍. 水稻冠层叶片 SPAD 数值变化特征及其在氮素营养诊断中的应用[D]. 杭州:浙江大学,2012.

[27]唐建军,何火娇,彭莹琼,等. 水稻不同叶位叶色信息与叶片含氮量的关系研究[J]. 江西农业大学学报,2014,36(2):261-264.

[28]郭 晨,徐正伟,李小坤,等. 不同施氮处理对水稻产量、氮素吸收及利用率的影响[J]. 土壤,2014,46(4):618-622.

[29]谢 芳,韩晓日,杨劲峰,等. 不同施氮处理对水稻氮素吸收及产量的影响[J]. 中国土壤与肥料,2010(4):24-26,45.

[30]戈长水,应 武,杨 虎,等. 叶绿素计(SPAD-502)在水稻氮素营养诊断和推荐施肥中的应用、研究及展望[J]. 农业科技通讯,2014(2):8-13.

[31]陈晓阳,钱秋平,赵秀峰,等. 水稻叶片 SPAD 空间分布与氮素营养及种植密度的关系[J]. 江西农业学报,2013,25(5):13-15.

[32]王绍华,曹卫星,王强盛,等. 水稻叶色分布特点与氮素营养诊断[J]. 中国农业科学,2002,35(12):1461-1466.