

不同地力和施氮水平下水稻叶片 SPAD 值及产量的分析

李杰 冯跃华* 王旭 麻井彪 吴彦利 李香玲 叶勇 黄佑岗 牟桂婷

(贵州大学农学院, 贵阳 550025; * 通讯作者: fengyuehua2006@126.com)

摘要:以 Q 优 6 号为材料, 分析了不同地力条件下不同施氮水平对水稻叶片 SPAD 值和产量的影响。结果表明, 水稻产量与表观供氮量存在极显著的曲线相关, 且当表观供氮量在 575.27 kg/hm^2 时, Q 优 6 号产量较高; 不同处理下各生育时期 SPAD 值大小顺序为抽穗期>拔节期>成熟期, 且差异主要表现在抽穗期和成熟期; 拔节期和抽穗期不同地力和施氮水平下水稻冠层 4 张叶片各自的差异主要表现在顶 3 叶和顶 4 叶上, 可以利用两者的 SPAD 值作为参数进行氮素营养诊断; SPAD 值与表观供氮量之间存在显著线性相关, 且采用 $\text{SPAD}_{1.3\text{d}, 4/\text{max}}$ 进行拟合时效果更好, 均达到极显著水平。获取水稻叶片 SPAD 值次级指标可以实现对田块速效氮含量的估计。

关键词:水稻; SPAD 值; 表观供氮量; 速效氮; 产量

中图分类号: S511.062 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-8082(2017)01-0026-06

SPAD 叶绿素计的测定值 (SPAD 值) 表示测定作物部位叶绿素的相对含量^[1-3], 由于其测定具有快速、无损、简便的特点^[4], 得到了广泛的应用, 在某些试验研究中还被直接作为分析的参数^[5-6]。除此之外, 鉴于叶绿素含量与作物生产状态以及氮素的关系, SPAD 值还被应用在育种、品质分析、氮素诊断、施氮管理等方面, 并取得了较好的效果。徐福荣等^[7]以水稻植株 SPAD 值作为耐低氮能力评价指标, 以不同试验地点 SPAD 值的相对值为参考评价指标, 筛选出了耐低氮基因型种质。张丽等^[8]的研究表明, 叶片 SPAD 值递减值可作为判定成熟期籽粒蛋白质含量高低的指标, 可利用叶片 SPAD 值递减值并结合相关模型快速预测玉米籽粒蛋白质含量。马甜等^[9]的研究亦表明, 羊草叶片的 SPAD 值能够反映羊草的营养物质。在氮素诊断方面, 赵犇等^[10]建立了基于归一化 SPAD 指数 (NDSPAD) 与氮营养指数 (NNI) 之间的稳定关系, 能较好的定量估算氮营养指数, 从而快速诊断小麦氮素状况。此外, 王娟等^[3, 11-13]在棉花、夏玉米、马铃薯、冬油菜上的研究亦表明, 利用 SPAD 值可以诊断作物氮素营养状况。在施氮管理方面, 蒋阿宁等^[14-16]基于 SPAD 值次级指标分别在小麦、夏玉米和烟草中进行的氮肥管理研究试验, 均取得了较好的效果。

水稻是利用 SPAD 值分析氮素营养状况以及进行施氮管理研究应用最多的作物^[17], 并取得了理想的效果。基于前人的研究, 笔者尝试构建基于 SPAD 值的水稻变量施氮模型, 为此, 本研究选择不同地力田块设置

不同施氮水平, 测定并分析水稻叶片 SPAD 值以及产量的情况, 以期模型的构建提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验于 2015 年在贵州省安顺市西秀区旧州镇文星村进行, 选择不同地力试验田 4 块, 土壤基础肥力状况见表 1, 其中速效氮含量 $D1 > D2 > D3 > D4$, 依次为 184.00 mg/kg 、 157.53 mg/kg 、 144.87 mg/kg 、 139.98 mg/kg , 按 $2.25 \times 10^6 \text{ kg/hm}^2$ 土壤容重计算为田块供氮量, 分别为 413.99 kg/hm^2 、 354.44 kg/hm^2 、 325.96 kg/hm^2 、 314.95 kg/hm^2 。供试水稻品种为 Q 优 6 号。

每块试验田内采用随机区组设计, 设 4 种施氮水平, 分别为 0 kg/hm^2 (N0)、 75 kg/hm^2 (N1)、 150 kg/hm^2 (N2)、 225 kg/hm^2 (N3)。每种施氮处理采用分次施肥法, 基肥、分蘖肥、促花肥、保花肥的施氮量占比分别为 35%、20%、30%、15%。氮、磷、钾肥分别采用尿素、过磷

收稿日期: 2016-11-03

基金项目: 国家自然科学基金 (31360311, 31160263); 公益性行业 (农业) 科研专项 (201503118-03); 贵州省农业科技攻关项目 (黔科合 NY [2011]3085 号, 黔科合 NY [2013]3005 号); 贵州省作物学省级重点学科建设计划 (黔学位合字 ZDXK[2014]8 号); 贵州省普通高等学校粮油作物遗传改良与生理生态特色重点实验室项目 (黔教合 KY 字[2015]333)

表 1 试验田基础肥力状况

编号	pH 值	有机质 (g/kg)	速效氮 (mg/kg)	速效磷 (mg/kg)	速效钾 (mg/kg)	全氮 (g/kg)	全磷 (g/kg)	全钾 (g/kg)
D1	6.16	38.87	184.00	4.99	77.93	0.92	1.03	10.71
D2	6.25	29.90	157.53	3.83	69.20	0.96	0.58	12.03
D3	6.30	35.90	144.87	8.83	56.19	0.70	0.83	9.51
D4	6.63	30.94	139.98	8.16	54.83	0.86	1.18	11.65

表 2 不同地力田块下不同施氮处理的产量情况

(kg/hm²)

施氮处理	D1		D2		D3		D4	
	表观供氮量	产量	表观供氮量	产量	表观供氮量	产量	表观供氮量	产量
N0	413.99	8 821.32 a	354.44	7 272.56 a	325.96	7 361.62 c	314.95	7 870.16 b
N1	488.99	9 813.43 a	429.44	7 728.67 a	400.96	8 629.81 b	389.95	8 587.18 ab
N2	563.99	9 973.80 a	504.44	8 691.88 a	475.96	8 786.29 b	464.95	9 344.29 a
N3	638.99	9 348.54 a	579.44	8 079.29 a	550.96	9 369.96 a	539.95	9 504.62 a

同列数据后不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著。下同。

酸钙和氯化钾。磷肥、钾肥各处理施肥情况一致,磷肥作基肥一次性施用,钾肥基肥和穗肥各占一半,P₂O₅用量为 96 kg/hm², K₂O 用量为 135 kg/hm²。每个处理 2 次重复,小区面积 15 m²,每个小区四周筑高 30 cm、宽 20 cm 的田埂并包膜,包膜压深至地下 30 cm,防止水肥渗透,重复间留 50 cm 走道,以便田间操作及调查。2015 年 4 月育秧,5 月 30-31 日移栽,行株距均为 30.0 cm×16.5 cm,每丛插 1 苗,栽培管理同一般生产田。

1.2 测定内容与方法

1.2.1 SPAD 值

采用 SPAD-502 叶绿素计于拔节期(7 月 12-13 日)、抽穗期(8 月 18-19 日)、成熟期(9 月 23 日),每小区随机测定 5 株主茎冠层顶 1 叶、顶 2 叶、顶 3 叶和顶 4 叶 4 张叶片(成熟期时为最顶上 2 片叶片),测定时选择水稻全展或半展叶片测定 1/2 处及其上下 3 cm,叶宽 1/4 或 3/4 的位置。每小区对应叶位 SPAD 值的平均值作为该小区该叶位的 SPAD 值,每株测定叶位 SPAD 值的平均值作为该稻株的 SPAD 值,每小区 5 株稻株 SPAD 值的平均值作为该小区的 SPAD 值。

1.2.2 产量及产量构成

成熟期每小区选定 5 m² 作为测产小区,单打单收,晒干后测定稻谷质量和含水量,然后折算成含水量 13.5%记为实收产量。

1.2.3 表观供氮量

表观供氮量^[18-19]=田块含氮量+人工供氮量,田块含氮量按 2.25×10⁶ kg/hm² 的土壤容重乘以田块土壤速效氮含量计算。

1.2.4 SPAD 值次级指标

由水稻冠层 4 张叶片的 SPAD 值通过某种数学关

系处理而得,本文分析采用了 4 种 SPAD 值次级指标,分别为:SPAD_{I4-I3}=顶 4 叶 SPAD 值-顶 3 叶 SPAD 值,SPAD_{(I3-I4)/I3}=(顶 3 叶 SPAD 值-顶 4 叶 SPAD 值)/顶 3 叶 SPAD 值,SPAD_{(I2-I1)/(I2+I1)}=(顶 2 叶 SPAD 值-顶 1 叶 SPAD 值)/(顶 2 叶 SPAD 值+顶 1 叶 SPAD 值),SPAD_{I3×I4/mean}=顶 3 叶 SPAD 值×顶 4 叶 SPAD 值/4 张叶片平均 SPAD 值。

1.2.5 数据分析

试验数据采用 SAS 9.0 软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同地力条件不同施氮水平下的产量情况

由表 2 可知,D1、D2 地力条件下各施氮处理间产量差异不显著;D3 地力条件下,随着施氮量的增加产量也增加,N3 处理产量显著高于其他处理;D4 地力条件下,N3、N2 处理之间产量差异不显著,但均显著高于 N0 处理。采用两因素交叉分组完全随机设计,由重复观察值的方差分析得出,D1 产量显著高于其他地力田块的产量,D3 和 D4 之间产量差异不显著,但显著高于 D2 产量。D2 地力速效氮、全氮含量相对都较高,但产量比较低,这可能受有机质等其他营养成分的限制造成。

从表 2 还可看出,各试验田块产量最大值 D1 为 9 973.80 kg/hm²、D2 为 8 691.88 kg/hm²、D3 为 9 369.96 kg/hm²、D4 为 9 504.62 kg/hm²,而其对应的表观供氮量依次为 563.99 kg/hm²、504.44 kg/hm²、550.96 kg/hm²、539.95 kg/hm²。除 D2 地力田块表观供氮量相对较低外,D1、D3、D4 的表观供氮量都比较接近,这表明对于 Q 优 6 号来说,满足其产量需求的表观供氮量处于一

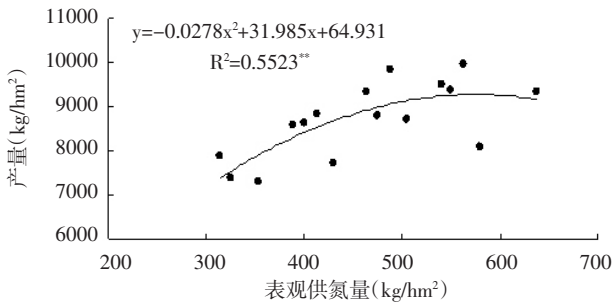


图 1 表观供氮量与产量之间的关系

表 3 不同地力条件不同生育时期 Q 优 6 号 SPAD 值

试验地块	施氮水平	拔节期	抽穗期	成熟期
D1	N0	37.30 b	35.49 c	20.90 d
	N1	39.29 a	41.53 b	25.74 c
	N2	38.88 a	43.49 a	28.38 b
	N3	38.84 a	44.61 a	32.73 a
D2	N0	38.50 a	36.34 d	25.02 b
	N1	38.44 a	39.91 c	29.19 ab
	N2	39.05 a	41.77 b	30.01 ab
	N3	37.66 a	43.09 a	35.94 a
D3	N0	34.25 a	34.29 d	21.58 c
	N1	35.10 a	38.76 c	20.97 c
	N2	37.15 a	41.62 b	29.97 b
	N3	36.84 a	43.99 a	34.81 a
D4	N0	35.57 a	36.38 a	19.46 b
	N1	35.40 a	40.19 a	28.71 ab
	N2	36.16 a	41.94 a	27.03 b
	N3	38.20 a	44.57 a	33.80 a
D1		38.58 a	41.28 b	26.94 b
D2		38.41 a	40.28 b	30.04 a
D3		35.83 a	39.67 b	26.83 b
D4		36.33 a	40.77 b	27.25 b
N0		36.40 a	35.62 d	21.74 d
N1		37.06 a	40.10 c	26.15 c
N2		37.81 a	42.21 b	28.85 b
N3		37.89 a	44.07 a	34.32 a

各地力试验田块内的采用单因素随机区组设计进行显著性检验,各地力田块间,各施氮水平间采用 SAS 两因素交叉分组完全随机设计有重复观测值进行检验。下同。

个值。将表观供氮量和产量进行二次曲线拟合,拟合度 R^2 为 0.5523,达极显著水平(图 1)。由拟合方程得出最佳表观供氮量为 575.27 kg/hm²,此时产量最高为 9 264.93 kg/hm²,这低于表 2 中多个处理下的产量,这与 D2 地力条件下各处理的数据参与拟合有关(由 D1、D3、D4 进行曲线拟合, $R^2=0.8612^{**}$,最佳表观供氮量为 570.22 kg/hm²,最高产量为 9 573.31 kg/hm²)。

2.2 不同地力条件下不同施氮处理间水稻冠层的 SPAD 值

2.2.1 水稻冠层 SPAD 值

从表 3 可知,SPAD 值随着施氮量的增加而增加,不同地力条件下各生育时期的 SPAD 值总体表现为抽穗期>拔节期>成熟期,而拔节期各处理间的 SPAD 值差异不明显,一方面拔节期主要进行营养生长,另一方面这可能与拔节期已施有 55%的氮肥相关。施肥量多少所引起的 SPAD 值差异主要表现在抽穗期和成熟期,抽穗期主要是生殖生长,氮素向穗部转移,施氮量的多少造成叶片 SPAD 值的差异开始出现。到成熟期时氮素已向穗部转移,前期施氮量高的处理留在叶片中的氮素相对较多,SPAD 值高,前期施氮量低的处理氮素留的少,SPAD 值低。对不同地力田块的差异检验结果表明,拔节期和抽穗期 SPAD 值差异不显著;成熟期 D2 地块 SPAD 值最大,显著高于其他田块,而 D1、D3、D4 地块之间差异不显著。

2.2.2 水稻冠层 4 张叶片的 SPAD 值

从表 4 可知,拔节期叶片 SPAD 值的高低顺序表现为 L3>L4>L2>L1,且施氮量越高 L3 和 L4 的差值越小;抽穗期则表现为 L1>L2>L3>L4,且施氮量越高,L1、L2、L3、L4 间的差值越小。另外,拔节期各地力田块内顶 3 叶较为稳定,不同施氮水平间的差异都不显著,而顶 4 叶对施氮水平较为敏感;到抽穗期时顶 3 叶对施氮水平表现较为敏感,其次是顶 4 叶。此外,拔节期各试验田内的 SPAD 值出现差异的主要是顶 2 叶和顶 4 叶,而抽穗期顶 2 叶未表现显著差异。各施氮水平内 SPAD 值出现的差异,拔节期表现在顶 4 叶,抽穗期主要表现在顶 3 叶和顶 4 叶。因此,可以采用顶 3 叶和顶 4 叶参与的 SPAD 值次级指标作为水稻氮素营养诊断的参数。

2.3 SPAD 值次级指标与表观供氮量的关系

上述结果表明,表观供氮量与产量,施氮量与 SPAD 值之间存在一定的关系,对 3 个生育时期表观供氮量和 SPAD 值进行线性拟合(图 2)。结果表明,拔节期两者达到显著线性相关,而抽穗期和成熟期两者均达到极显著水平, R^2 依次为 0.3713、0.8259、0.6680,以抽穗期拟合度最高。此外,将拔节期的 SPAD 值与其实表观供氮量(田块表观供氮量+人工供氮量的 55%)进行拟合,线性关系为 $y=0.0183x+29.723$, $R^2=0.5077$,亦达到极显著水平。这表明以 SPAD 叶绿素计测定水稻冠层叶片 SPAD 值对田块速效氮含量进行预测成为一种可能。

SPAD 值次级指标与施氮量^[20]、含氮量^[21]、氮素营养

表 4 不同地力田块不同施氮水平下水稻冠层 4 张叶片 SPAD 值的特征

试验田块	施氮水平	拔节期				抽穗期			
		L1	L2	L3	L4	L1	L2	L3	L4
D1	N0	33.41 b	37.32 b	40.68 a	37.77 b	39.76 b	37.14 b	34.38 c	30.68 c
	N1	34.77 ab	43.18 a	39.09 a	40.10 ab	44.52 a	43.76 a	40.65 b	37.19 b
	N2	33.61 ab	38.87 b	41.86 a	41.17 ab	45.11 a	44.46 a	43.29 ab	41.10 a
	N3	33.77 a	38.68 b	41.70 a	41.23 a	45.59 a	44.49 a	45.15 a	43.22 a
D2	N0	33.12 a	38.80 a	42.68 a	39.41 a	39.83 b	37.45 c	35.02 c	33.05 c
	N1	34.39 a	37.49 a	42.21 a	39.67 a	41.73 ab	40.95 b	39.01 b	37.95 b
	N2	32.84 a	39.20 a	42.53 a	41.64 a	42.85 ab	42.63 a	41.28 ab	40.33 ab
	N3	33.19 a	37.37 a	40.92 a	39.14 a	44.60 a	43.46 a	42.03 a	42.29 a
D3	N0	31.37 a	34.39 a	37.16 a	34.07 b	41.40 c	37.19 c	32.54 d	26.02 d
	N1	31.57 a	35.45 a	38.05 a	35.34 ab	44.13 b	40.77 b	37.34 c	32.81 c
	N2	30.51 a	37.65 a	41.08 a	39.37 ab	45.32 ab	44.18 a	39.98 b	37.02 b
	N3	31.91 a	36.94 a	39.50 a	39.00 a	45.81 a	45.33 a	43.18 a	41.65 a
D4	N0	34.84 a	36.01 a	37.93 a	33.48 a	41.01 a	38.73 a	35.63 b	30.13 a
	N1	33.03 a	35.70 a	38.64 a	34.23 a	43.09 a	42.31 a	38.94 ab	36.43 a
	N2	31.26 a	35.83 a	39.47 a	38.09 a	44.31 a	44.02 a	40.85 ab	38.60 a
	N3	33.35 a	37.83 a	41.86 a	39.75 a	45.60 a	44.75 a	44.32 a	43.60 a
D1		33.89 a	39.51 a	40.83 a	40.07 a	43.75 ab	42.46 a	40.87 a	38.05 a
D2		33.38 a	38.21 ab	42.09 a	39.97 a	42.25 b	41.12 a	39.34 ab	38.40 a
D3		31.34 a	36.11 b	38.95 a	36.95 ab	44.16 a	41.87 a	38.26 b	34.37 b
D4		33.12 a	36.34 b	39.47 a	36.39 b	43.50 ab	42.45 a	39.94 ab	37.19 a
N0		33.18 a	36.63 a	39.61 a	36.18 b	40.50 c	37.63 bc	34.39 d	29.97 d
N1		33.44 a	37.96 a	39.50 a	37.33 ab	43.37 b	41.95 b	38.98 c	36.09 c
N2		32.05 a	37.89 a	41.24 a	40.07 a	44.39 ab	43.82 a	41.35 b	39.26 b
N3		33.05 a	37.71 a	40.99 a	39.78 a	45.40 a	44.51 a	43.67 a	42.69 a

表 5 SPAD 值次级指标与表观供氮量拟合的线性方程

次级指标方式	拟合方程			
	拔节期		抽穗期	
SPAD _{L4-L3}	y=0.0119 x-7.5042	R ² =0.5739**	y=0.0131 x-8.6964	R ² =0.4815**
SPAD _{(L3-L4)/L3}	y=-0.0003 x+0.1946	R ² =0.5882**	y=-0.0004 x+0.2617	R ² =0.5316**
SPAD _{(L2-L1)/(L2+L1)}	y=0.0001 x+0.0120	R ² =0.2125	y=0.0001 x-0.0668	R ² =0.4526**
SPAD _{L3xL4/mean}	y=0.0214 x+31.535	R ² =0.4679**	y=0.0528 x+11.6810	R ² =0.8344**

y 表示 SPAD 值次级指标,x 表示为表观供氮量。

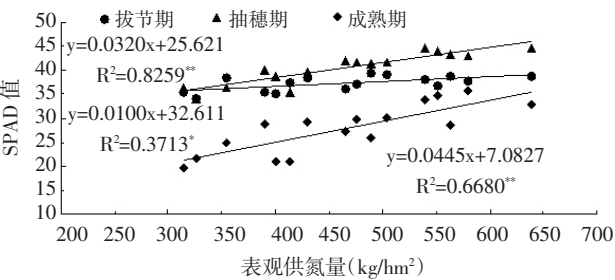


图 2 三个生育时期水稻冠层 SPAD 值与表观供氮量的关系

指数^[10]之间具有较好的相关性,本文将 4 个 SPAD 值次级指标与表观供氮量进行线性拟合,结果见表 5。SPAD_{L4-L3}、SPAD_{(L3-L4)/L3}、SPAD_{L3xL4/mean} 与表观供氮量在拔节期、抽穗期均达到极显著线性相关,SPAD_{(L2-L1)/(L2+L1)}

在抽穗期达到极显著水平而拔节期不显著。

3 结论与讨论

陈小龙等^[22]研究表明,水稻 SPAD 值抽穗期最大;陈晓阳等^[23]研究表明,随着施氮量的增加,抽穗期 SPAD 值表现为顶 1 叶>顶 2 叶>顶 3 叶>顶 4 叶,抽穗期不同叶位 SPAD 值与施氮量的相关性顺序是顶 1 叶>顶 3 叶>顶 2 叶>顶 4 叶;张耀鸿等^[24]研究表明,顶 3 叶 SPAD 值在不同氮肥水平下变化最大,不受品种的影响,并且与水稻总叶片含氮量及植株含氮量呈极显著的相关性;李刚华等^[25]研究表明,SPAD 值对氮素的敏感顺序为顶 4 叶、顶 3 叶、顶 2 叶,而顶 1 叶因品种而异,穗分化期、齐穗期和成熟期均以顶 3 叶与总叶片

和植株含氮率的相关系数最高,且适宜施氮水平下,穗分化期的顶 3 叶 SPAD 值变异系数最小,在诊断水稻氮素营养状况和推荐穗肥施用时,顶 3 叶是较为理想的指示叶;而姜继萍等^[20-21]研究表明,顶 4 叶是反映水稻氮素营养状态的理想指示叶。本研究结果表明,不同地力和施氮水平下各生育时期的 SPAD 值抽穗期>拔节期>成熟期,且差异主要表现抽穗期和成熟期;拔节期和抽穗期时不同地力和施氮水平下水稻冠层 4 张叶片各自的差异主要表现在顶 3 叶和顶 4 叶上,该时期可以利用两者作为参数进行氮素营养诊断。

研究表明,SPAD₍₁₄₋₁₃₎、SPAD_{(13-14)/13}, SPAD_{(12-11)/(12+11)}等 SPAD 值次级指标能与施氮量^[20]、含氮量^[21]、氮素营养指数^[10]以及倒伏指数^[26]之间建立稳定的相关关系。本研究表明,SPAD₁₄₋₁₃和 SPAD_{(13-14)/13}在水稻拔节期和抽穗期以及 SPAD_{(12-11)/(12+11)}在抽穗期时均与表观供氮量之间存在极显著的线性相关关系,而 SPAD_{13x14/mean}在两个时期与表观供氮量之间亦达到极显著线性相关,且抽穗期的拟合度是几个 SPAD 值次级指标中最高的。可以利用此关系在不取土样进行实验室测定的情况下,对田块速效氮含量进行估计。

氮素是影响水稻生长、产量和品质的重要元素,合理施氮是水稻种植最重要的管理措施。本研究表明,针对杂交稻 Q 优 6 号,为获得较高产量,其表观供氮量需求在 575.27 kg/hm² 左右,利用 SPAD 值次级指标与表观供氮量的关系可以实现该水稻品种的实时实地氮肥管理。值得注意的是,本试验所选择的 4 块不同地力田块速效氮含量都偏高,对于 SPAD 值次级指标估计田块的速效氮含量及其施氮管理的应用还需要进一步的研究和验证。

参考文献

- [1] 薛香,吴玉娥.小麦叶片叶绿素含量测定及其与 SPAD 值的关系[J].湖北农业科学,2010,49(11):2 701-2 702.
- [2] 李晓宇.杨树叶片 SPAD 值与叶绿素含量的相关性研究[J].辽宁林业科技,2015(2):7-8.
- [3] 王娟,韩登武,任岗,等. SPAD 值与棉花叶绿素和含氮量关系的研究[J].新疆农业科学,2006,43(3):167-170.
- [4] 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.
- [5] 张建军,党翼,樊廷录,等.控释尿素基施及普通尿素分期施对旱地冬小麦产量和水分利用效率的影响[J].核农学报,2014,28(5):912-918.

- [6] 朱宝国,张春峰,王囡囡,等.不同追氮方式对寒地玉米相关性状及产量的影响[J].核农学报,2015,29(9):1 806-1 812.
- [7] 徐福荣,汤翠凤,余藤琼,等.利用叶绿素仪 SPAD 值筛选耐低氮水稻种质[J].分子植物育种,2005,3(5):695-700.
- [8] 张丽,张中东,陶宏斌,等.利用玉米叶片 SPAD 值预测籽粒蛋白质含量分析[J].玉米科学,2014,22(6):74-79.
- [9] 马甜,蒙静,齐冬梅,等.羊草稳定同位素值、叶绿素值与其营养品质分析[J].草业科学,2015,32(8):1 268-1 277.
- [10] 赵森,姚霞,田永超,等.基于上部叶片 SPAD 值估算小麦氮营养指数[J].生态学报,2013,33(3):916-924.
- [11] 于亚利,贾文凯,王春宏,等.春玉米叶片 SPAD 值与氮含量及产量的相关性研究[J].玉米科学,2011,19(4):89-92.
- [12] 陈百翠,魏峭嵘,石瑛,等. SPAD 值在马铃薯氮素营养诊断和推荐施肥中的研究与应用[J].吉林农业科学,2014,39(4):26-30.
- [13] 李岚涛,刘波,鲁剑巍,等.冬油菜叶片 SPAD 的时空分布和氮素诊断的叶位选择[J].中国油料作物学报,2014,36(1):76-83.
- [14] 蒋阿宁,黄文江,刘克礼,等.利用叶绿素计进行冬小麦变量施肥及其效应研究[J].植物营养与肥料学报,2007,13(6):1 092-1 097.
- [15] 赵士诚,何萍,仇少君.相对 SPAD 值用于不同品种夏玉米氮肥管理的研究[J].植物营养与肥料学报,2011,17(5):1 091-1 098.
- [16] 魏彬,曾繁东,林建委,等.基于 SPAD 仪的精准施肥模式对烤烟叶片生长发育及产量性状的影响[J].广东农业科学,2012(16):13-16.
- [17] 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.
- [18] 张悦,岳善超,李婷,等.栽培模式、施氮量对旱作春玉米农田矿质氮和产量的影响[J].干旱地区农业研究,2016,34(1):99-107.
- [19] 徐晖,崔怀洋,张伟,等.播期、密度和施氮量对稻茬小麦光明麦 1 号氮肥表观利用率的调控[J].作物学报,2016,42(1):123-130.
- [20] 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.
- [21] 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):1 461-1 466.
- [22] 陈小龙,陈灿,周莉.水稻不同生育期叶绿素含量的测定及其相关性分析[J].现代农业科技,2010(17):42-44,52.
- [23] 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.
- [24] 张耀鸿,高文丽,胡继超.利用叶绿素计诊断水稻氮素营养的研究[J].江苏农业科学,2008(6):256-257.
- [25] 李刚华,薛利红,尤娟,等.水稻氮素和叶绿素 SPAD 叶位分布特点和氮素诊断的叶位选择[J].中国农业科学,2007,40(6):1 127-1 134.
- [26] 刘金友,李刚华,王高鹏,等.水稻茎秆抗倒伏性状与叶色的关系分析[J].中国稻米,2013,19(4):8-12.

(下转第 35 页)

数达 40.00%;其次为蒸煮食味品质性状,其中,胶稠度变异系数为 8.93%。

3 结论与讨论

研究表明,与水作覆膜、旱作不覆膜及常规栽培稻米相比,参试 2 个品种均一致表现为旱作覆膜的加工品质(糙米率、精米率)略有提高。88S/1128 的糙米率、精米率不同处理间差异不显著,但旱作覆膜栽培的整精米率降低,且与水作覆膜、旱作不覆膜及常规栽培差异显著。湘晚粳 17 号旱作覆膜栽培的精米率显著高于水作覆膜栽培,但整精米率却显著低于水作覆膜栽培。这与李克武等^[1]和杨建昌等^[2]的研究结果类似。

2 个品种一致表现为旱作覆膜、水作覆膜、旱作不覆膜及常规栽培稻米外观品质(粒长、长宽比)差异不显著,但垩白粒率、垩白大小旱作覆膜比常规栽培显著提高。研究还表明,88S/1128 旱作覆膜与常规栽培相

比,直链淀粉含量降低、胶稠度变小、糊化温度升高;而湘晚粳 17 号直链淀粉含量降低、胶稠度变大、糊化温度降低。但杨建昌等^[2]研究表明,旱作覆膜栽培稻米胶稠度较水作显著减小,糊化温度则比水作增加。测定结果表明,2 个品种蛋白质含量一致表现为 HBF>CK>HF>SF,且旱作不覆膜与常规栽培、旱作覆膜和水作覆膜差异显著。

研究还表明,稻米品质性状变异度最大的为外观品质性状,其次为蒸煮食味品质性状,碾米品质性状变异度较小,这与黄发松等^[3]的研究结果相同。

参考文献

- [1] 李克武,易杰忠,董全才. 覆膜旱作稻米品质的初步研究[J]. 中国农学通报,2000,6(5):4-6.
- [2] 杨建昌,王志琴,陈义芳,等. 旱种水稻产量与米质的初步研究[J]. 江苏农业研究,2000,21(3):1-5.
- [3] 黄发松,罗玉坤,庞乾林. 我国优质稻米的生产现状和发展对策[J]. 中国稻米,1998(6):3-6.

Effects on Rice Quality of Different Cultivation Modes

QU Huaxiang¹, ZHAO Ping², LIU Yang³, ZHANG Yuzhu³

(¹ Agricultural Economic and Information Institute, Jiangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanchang 330200, China; ² Vegetable and Flower Institute, Jiangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanchang 330200, China; ³ Hunan Rice Research Institute, Changsha 410125, China; *Corresponding author: yuzhuzhang@hotmail.com)

Abstract: A field experiment was carried out to explore the effects of different cultivation modes on rice quality. The results showed that the brown rice rate and milled rice rate were highest under dry film mulching cultivation, the head rice rate was highest under water film mulching cultivation. There was no significant difference in grain length and length/width ratio of the same variety in different cultivation modes, but the film mulching cultivation had a higher rate of chalky rice rate and chalkiness degree. Compared with CK, 88S/1128 under dry film mulching cultivation has lower amylase content and gel consistency, but higher pasting temperature; Xiangwanxian17 under dry film mulching cultivation has lower amylose content, higher gel consistency and lower pasting temperature. The protein content of two varieties showed dry and no film mulching cultivation > conventional cultivation > dry film mulching cultivation > water film mulching cultivation. The variation degree of rice quality traits showed appearance quality traits > cooking and eating quality traits > milling quality traits.

Key words: rice; cultivation modes; quality

(上接第 30 页)

Analysis of SPAD Value of Rice Leaf and Yield Under Different Soil Fertility and Nitrogen Application

LI Jie, FENG Yuehua*, WANG Xu, MA Jingbiao, WU Yanli, LI Xiangling, YE Yong, HUANG Yougang, MOU Guiting

(College of Agronomy, Guizhou University, Guiyang 550025, China; *Corresponding author: fengyuehua2006@126.com)

Abstract: SPAD value of rice canopy leaves and yield under different soil fertility and nitrogen application were analyzed, Qyou 6 as material. The results showed that the curve relationship between yield and apparent nitrogen supply was very significant, and there was a higher yield for Qyou 6 when apparent nitrogen supply was 575.27 kg/hm². The SPAD value of every growth stage under different soil fertility and nitrogen application was heading stage>jointing stage>maturity stage, and the difference of SPAD value were mainly at heading stage and maturity stage. The differences of SPAD value of four rice canopy leaves of different soil fertility and nitrogen application were mainly in third leaf and fourth leaf. Their SPAD values could be used as parameter to diagnose the nutritional status of nitrogen. The linear relationship between SPAD value and apparent nitrogen supply was significant, and the matching effect of adopting SPAD 13xLA/mean was best. The secondary index of SPAD value obtained from rice canopy leaves could estimate available nitrogen of soil.

Key words: rice; SAPD value; apparent nitrogen supply; available nitrogen; yield