

紫云英联合稻秸还田下化肥减量对水稻生长、产量和品质的影响

周影¹, 王琳^{2*}, 魏启舜¹, 郭成宝¹, 殷宏宝³, 周学珍³

(1. 江苏丘陵地区南京农业科学研究所, 江苏 南京 210046; 2. 江苏开放大学乡村振兴学院, 江苏 南京 210036; 3. 南京骏圣生态农业有限公司, 江苏 南京 211599)

摘要: 大田试验条件下, 研究了紫云英与稻秸秆联合还田配合不同减量比例化肥处理对梗稻品种南粳 46 生长和品质的影响。结果表明: 减少施肥量对水稻分蘖期株高、绿叶数、地上部干重以及叶片 SPAD 值影响较小, 处理间差异不显著, 茎蘖数较对照减少, 但根体积和根干重显著增加。抽穗扬花期减肥 20% 和 30% 处理水稻株高显著高于常规施肥和减肥 40% 处理, 根干重和地上部干重大于对照。本试验条件下, 不同施肥量处理对水稻产量产生影响, 减肥 20% 处理水稻平均产量最高, 较对照增产 18.6%; 其次是减肥 30% 的处理, 产量较对照增加 16.4%, 两处理产量均显著高于减肥 40% 处理和常规对照。增产的效果主要表现在穗数、穗粒数以及结实率的增加。研究表明, 减肥 30% 显著提高了水稻糙米率, 适量减肥 (减肥 20% ~ 30%) 提高了水稻糙米率和精米率, 降低了垩白率和垩白度, 有助于加工品质和外观品质的提升。不同施肥量处理对水稻粒型、稻米直链淀粉含量及最终黏度和崩解值产生影响, 而对稻米胶稠度以及峰值黏度、热浆黏度、消减值、峰值黏度时间、起始糊化温度指标影响不显著。综上所述, 水稻-绿肥轮作模式下, 紫云英和稻秸还田配合 20% ~ 30% 减量施肥有利于促进水稻产量和品质的提升。

关键词: 水稻; 紫云英; 秸秆还田; 化肥减量; 生长指标; 产量; 稻米品质

稻田培肥是水稻持续高产稳产的关键。目前, 由于有机物料投入不足, 化肥施用过量, 导致耕地质量退化^[1]、产量增长停滞不前、稻米品质下降等, 成为制约水稻生产可持续发展的重要因素。施用有机肥是我国培肥养地的一种常用模式。有机肥养分丰富, 有机物质含量高, 肥效持久, 有很好的改善土壤微生物群落结构的作用, 且有助于提高农产品品质^[2]。绿肥和秸秆都是绿色有机肥源, 翻压还田能带来大量的新鲜碳源, 提高耕层土壤速效养分和有机质含量^[3], 提高水稻产量、减少化肥施用^[4-5]。同时, 绿肥与稻秸秆联合利用可协调碳氮比, 提高降解菌丰度, 加快腐解进程, 缓解二者单独还田带来的不利影响, 提升秸秆利用效率^[6]。因此, 绿肥与秸秆还田越来越受到农业生产者的重视。

研究表明, 有机无机配施可提高肥料利用率, 改

善土壤生物性状, 增加土壤有机质活性部分的比例^[7-8]。对提高作物产量、改善品质有积极意义^[9-11]。李峰等^[12]研究了紫云英、秸秆还田下, 配施不同量化肥对稻田土壤的影响, 结果显示, 紫云英还田配施秸秆和适量化肥, 土壤各养分含量显著增加。吕玉虎等^[13]研究发现, 紫云英还田配施 80% 和 60% 化肥均能增加水稻产量, 提高土壤碱解氮、速效钾和有机质的含量。前人对秸秆还田和化肥配施对水稻产量和土壤养分的影响研究较多, 而对冬种绿肥与稻秸秆联合还田下减施化肥对水稻生长及产量、品质指标的影响探究较少。同时, 对单减氮肥的研究较多^[8-9], 而对氮、磷、钾肥同步减施的处理相对较少。本文通过研究冬种紫云英与稻秸秆联合还田下, 不同化肥施用量对水稻生长、产量构成及稻米品质的影响, 明确该条件下轮作水稻适宜施肥量, 为综合利用绿肥和稻秸、科学施用化肥提供理论和技术支撑。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试水稻品种为南粳 46。

收稿日期: 2021-12-17; 录用日期: 2022-01-09

基金项目: 2021 年亚夫科技服务项目 [KF (21) 2014]; 六合区骏圣农业 2021 年农业科技 (粮食类) 示范基地项目。

作者简介: 周影 (1983-), 副研究员, 硕士, 主要从事农业废弃物资源化利用、土肥等方面研究。E-mail: JJDD010@126.com。

通讯作者: 王琳, E-mail: wanglin0421nj@163.com。

1.2 试验设计

试验于 2019 ~ 2020 年在江苏省南京市江宁区湖熟街道常春水稻种植专业合作社水稻种植区实施, 种植模式为水稻 - 绿肥轮作。供试土壤基本理化性质: 有机质 25.4 g/kg, 全氮 2.20 g/kg, 有效磷 10.79 mg/kg, 速效钾 142 mg/kg。前茬水稻收获前 20 d 套播播种绿肥紫云英, 水稻留高茬机械收割, 秸秆粉碎还田, 冬种紫云英并于后茬水稻移栽前翻压还田, 翻压量为 19500 kg/hm²。为方便机械作业, 设大区对比试验, 每处理面积约 3350 m², 田间筑田埂, 单独灌排。于 5 月 25 日播种水稻, 6 月 22 日移栽, 栽插行株距为 26 cm × 14 cm。在紫云英和稻秸秆还田条件下, 试验共设 4 个施肥处理, 分别为: 常规施肥 (CK)、减肥 20% (F80)、减肥 30% (F70)、减肥 40% (F60)。基肥和追肥分别选用南京翠京元生物科技有限公司生产的复混肥 [总养分 (N:P₂O₅:K₂O=16:8:6) ≥ 30%]、水稻专用追肥 [总养分 (N:P₂O₅:K₂O=16:0:16) ≥ 32%] 和尿素。按照 600 kg/hm² 施基肥, 150 kg/hm² 尿素和 300 kg/hm² 水稻专用追肥分别于分蘖期和拔节孕穗期追施。F80、F70 和 F60 处理施肥时, 基肥和追肥均分别按 CK 处理常规施肥量的 80%、70% 和 60% 施用。不同施肥量处理养分投入量见表 1, 水稻生长期间田间管理按照当地常规方法进行。

表 1 不同施肥量处理水稻氮、磷、钾养分投入量
(kg/hm²)

处理	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
CK	213	48.0	84.0
F80	170	38.4	67.2
F70	149	33.6	58.8
F60	128	28.8	50.4

1.3 测定项目及方法

1.3.1 水稻生长指标测定

每小区按 S 形曲线选取 5 个点, 每点随机选取 2 穴, 共 10 穴水稻植株, 调查生长指标: 株高、茎蘖数、根体积 (采用排水法测定)、绿叶数、根干重和地上部干重。

1.3.2 叶绿素 SPAD 值测定

用手持便携式 SPAD—502 型叶绿素仪测量水稻剑叶 SPAD 值。

1.3.3 产量及其构成因子

于水稻成熟期每小区选取 5 个 3 m² 有代表性的

样点进行实收测产。每小区按照平均穗数法取 12 穴, 进行室内考种, 分别考查有效穗数、穗粒数、结实率和千粒重。

1.3.4 稻米品质测定

成熟后的种子风干, 常温下贮藏 2 个月后按照国家优质稻谷标准 (GB/T 1791-1999) 测定各品质指标, 包括糙米率、精米率、整精米率、垩白率、垩白度、粒长、粒宽、长/宽、直链淀粉含量和 RVA (Rapid Visco-Analyzer, 快速黏度仪) 谱特征值。

1.4 数据处理

运用 Excel 2007 和 SPSS 19.0 进行数据处理和统计分析, 并作图。

2 结果与分析

2.1 施肥量对水稻生长的影响

由表 2 可知, 水稻株高在分蘖期表现无明显规律, 处理间差异不显著。到抽穗扬花期则表现为 F80 和 F70 处理显著高于 CK 和 F60 处理, 其中, F70 处理植株最高, 分别较 CK 和 F60 处理高出 6 和 7 cm, 差异显著, F60 处理水稻植株最矮, 但较 CK 差异不显著。植株茎蘖数表现为, 在分蘖期 CK 处理多于各减肥处理, 其中较 F70 和 F60 处理差异显著, 各减肥处理间差异不显著; 至抽穗扬花期各处理间差异减小, 均未达显著水平。这表明在本试验条件下, 按常规施肥量施肥可以促进水稻前期分蘖, 但较减肥处理会产生更多的无效分蘖, 成穗率低于各减肥处理, 从而使得生长后期处理间穗数差异不显著。分蘖期和抽穗扬花期水稻根体积均表现为各减肥处理大于 CK 处理, 其中, 分蘖期不同施肥量处理间差异较大, F70 和 F60 处理根体积显著大于 CK 处理, 分别高出 44.6% 和 34.3%, F80 处理大于 CK 处理, 但差异不显著, 抽穗扬花期各处理间根体积表现无显著差异。

不同施肥量处理植株绿叶数在两个生育期均无显著差异, 不同生育期水稻根干重和根体积均表现为减肥处理大于 CK 处理。分蘖期 F70 和 F60 处理根干重显著高于 CK 和 F80 处理; 抽穗扬花期则表现为 F80 处理大于 CK 处理, 差异显著, F70 和 F60 处理与 CK 和 F80 处理间无显著差异。水稻地上部干重在分蘖期无明显规律, 处理间差异不显著; 抽穗扬花期则表现为各减肥处理大于 CK 处理, 其中 F80 和 F70 处理显著大于 CK 处理, 但与 F60 处理差异不显著。

表 2 不同处理对水稻植株生长的影响

生育期	处理	株高 (cm)	茎蘖数 (个/穴)	绿叶数 (片/穴)	根体积 (cm ³ /穴)	根干重 (t/hm ²)	地上部干重 (t/hm ²)
分蘖期	CK	59.6 ± 0.69a	22.3 ± 0.67a	76.0 ± 5.29a	23.3 ± 0.67b	0.72 ± 0.04b	3.51 ± 0.12a
	F80	58.8 ± 0.38a	20.7 ± 0.67ab	76.7 ± 2.60a	27.3 ± 0.67ab	0.78 ± 0.02b	3.45 ± 0.17a
	F70	60.4 ± 0.47a	19.3 ± 0.88b	79.7 ± 5.93a	33.7 ± 1.86a	0.94 ± 0.04a	3.59 ± 0.16a
	F60	59.5 ± 0.95a	20.0 ± 0.58b	78.3 ± 4.10a	31.3 ± 3.53a	0.89 ± 0.12a	3.50 ± 0.19a
抽穗扬花期	CK	103 ± 0.35c	16.5 ± 0.50a	71.5 ± 0.50a	34.5 ± 0.50a	1.34 ± 0.04b	15.9 ± 0.12b
	F80	106 ± 0.46b	17.0 ± 1.00a	73.5 ± 2.50a	36.0 ± 2.00a	1.59 ± 0.07a	19.2 ± 0.60a
	F70	109 ± 0.46a	17.5 ± 0.50a	73.5 ± 1.50a	37.0 ± 1.00a	1.52 ± 0.05ab	19.1 ± 0.49a
	F60	102 ± 1.11c	17.5 ± 0.50a	71.5 ± 2.50a	37.5 ± 0.50a	1.55 ± 0.05ab	17.7 ± 0.53ab

注：表中数据为平均值 ± 标准差，同列数据小写字母不同表示处理间差异显著（ $P<0.05$ ）。下同。

2.2 施肥量对水稻叶绿素 SPAD 值的影响

不同施肥量处理对水稻叶绿素 SPAD 值的影响见图 1。在分蘖期无明显表现规律，各处理间差异不显著。抽穗扬花期除 F70 处理显著高于 F60 处理外，其余处理间均无显著差异。这表明在该试验条

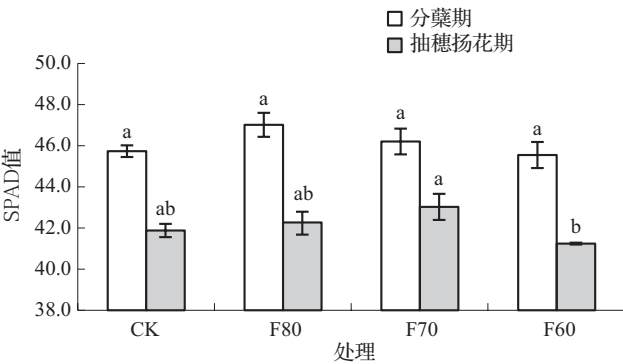


图 1 不同处理对水稻不同生育期叶片 SPAD 值的影响

注：图中小写字母不同表示处理间差异显著（ $P<0.05$ ）。

件下，水稻不同生育期叶片 SPAD 值受施肥量的影响较小，反应不敏感。

2.3 施肥量对水稻产量构成的影响

由表 3 可以看出，不同施肥量处理对水稻产量及其构成产生影响。F80 和 F70 处理的平均产量显著高于 CK 和 F60 处理。其中，F80 处理产量最高，为 10.9 t/hm²，比 CK 处理增加 1.71 t/hm²；其次是 F70 处理，产量为 10.7 t/hm²，比 CK 处理高出 1.51 t/hm²。产量最低的为 F60 处理，为 8.65 t/hm²，略低于 CK 处理，两者差异不显著。分析各产量构成因素，穗数和结实率均表现为 F80 和 F70 处理显著高于 CK 和 F60 处理；F80 处理穗粒数显著高于 CK 和 F60 处理，但与 F70 处理差异不显著；千粒重表现无明显规律，处理间差异不显著。穗长随施肥量的减少呈现先增加后减小的趋势，F80 处理的水稻穗长最长，且显著大于 F60 处理，其次是 F70 处理，穗长为 14.3 cm。

表 3 不同处理对水稻产量构成的影响

处理	穗数 (个/穴)	穗长 (cm)	穗粒数 (粒)	结实率 (%)	千粒重 (g)	产量 (t/hm ²)
CK	16.9 ± 0.19b	13.9 ± 0.16ab	131 ± 0.18bc	90.2 ± 1.22b	26.9 ± 0.08a	9.2 ± 0.35b
F80	18.1 ± 0.14a	14.7 ± 0.39a	139 ± 0.23a	93.5 ± 0.55a	27.2 ± 0.02a	10.9 ± 0.14a
F70	17.9 ± 0.27a	14.3 ± 0.39ab	136 ± 1.13ab	93.0 ± 0.42a	27.0 ± 0.18a	10.7 ± 0.27a
F60	17.1 ± 0.05b	13.5 ± 0.47b	127 ± 3.13c	90.0 ± 0.06b	27.1 ± 0.13a	8.7 ± 0.04b

2.4 施肥量对稻米品质的影响

分析不同施肥量处理对水稻稻米品质的影响，结果（表 4）显示，F70 处理水稻糙米率显著高于 CK 和 F60 处理，与 F80 处理间差异不显著。随施肥量的降低，精米率呈现先增加后减少的趋势，其

中 F70 处理精米率最高，显著高于 F60 处理，与 CK 和 F80 处理差异不显著；不同处理间整精米率无显著差异；稻米垩白率和垩白度表现为随施肥量的减少先减少后增加，F80 和 F70 处理的垩白率和垩白度指标均小于 CK 和 F60 处理。不同处理影响

籽粒粒长、粒宽和长/宽，各减肥处理间粒长差异不明显，但均显著大于CK处理；粒宽表现为F60处理显著大于其他处理；F60处理的长/宽显著小于F80和F70处理，与CK差异不显著。稻米直链

淀粉含量对施肥量的反应表现不一，F80处理显著高于CK和F70处理，其他处理间差异不显著。不同处理对稻米胶稠度的影响较小，CK和各减肥处理间差异均未达显著水平。

表 4 不同处理对稻米品质的影响

处理	糙米率 (%)	精米率 (%)	整精米率 (%)	垩白率 (%)	垩白度 (%)
CK	85.4 ± 0.14b	78.4 ± 0.11ab	77.8 ± 0.14a	18.5 ± 0.44a	1.67 ± 0.02ab
F80	85.6 ± 0.11ab	78.9 ± 0.20ab	78.1 ± 0.18a	16.8 ± 0.28b	1.48 ± 0.09b
F70	85.9 ± 0.06a	79.0 ± 0.21a	78.2 ± 0.19a	17.1 ± 0.47ab	1.41 ± 0.11b
F60	85.4 ± 0.02b	78.3 ± 0.16b	77.5 ± 0.31a	18.7 ± 0.50a	1.92 ± 0.15a

处理	粒长 (mm)	粒宽 (mm)	长/宽	直链淀粉含量 (%)	胶稠度 (mm)
CK	4.82 ± 0.01b	2.89 ± 0.01b	1.67 ± 0.00ab	12.8 ± 0.15b	101 ± 1.38a
F80	4.86 ± 0.01a	2.90 ± 0.01b	1.68 ± 0.01a	13.4 ± 0.13a	100 ± 4.88a
F70	4.86 ± 0.01a	2.89 ± 0.01b	1.68 ± 0.01a	12.4 ± 0.12b	102 ± 0.25a
F60	4.87 ± 0.01a	2.94 ± 0.01a	1.66 ± 0.01b	12.9 ± 0.17ab	100 ± 4.38a

2.5 施肥量对稻米 RVA 谱特征值的影响

如表 5 所示，不同施肥量处理稻米 RVA 谱特征值中峰值黏度和热浆黏度无明显表现规律，处理间差异不显著。各减肥处理的崩解值无显著差异，

但均大于常规施肥 CK 处理。最终黏度表现为 CK 处理大于 F60 处理，但与 F80 和 F70 处理间差异不显著。不同处理间消减值、峰值黏度时间和起始糊化温度表现不一，处理间差异均未达显著水平。

表 5 不同处理稻米 RVA 谱特征值

处理	峰值黏度 (cP)	热浆黏度 (cP)	崩解值 (cP)	最终黏度 (cP)	消减值 (cP)	峰值黏度时间 (min)	起始糊化温度 (℃)
CK	2823 ± 13.0a	1559 ± 6.5a	1265 ± 6.5b	2324 ± 62.5a	-500 ± 75.5a	6.27 ± 0.20a	68.9 ± 0.78a
F80	2907 ± 26.0a	1573 ± 18.0a	1334 ± 8.0a	2273 ± 22.0ab	-634 ± 4.0a	6.20 ± 0.00a	68.1 ± 0.08a
F70	2774 ± 32.0a	1460 ± 46.0a	1314 ± 14.0ab	2263 ± 7.5ab	-512 ± 24.5a	6.33 ± 0.13a	69.6 ± 0.85a
F60	2807 ± 66.5a	1470 ± 36.5a	1337 ± 30.0a	2174 ± 22.5b	-633 ± 44.0a	6.17 ± 0.03a	68.4 ± 0.38a

3 讨论

水稻高产、优质除了和品种特性有关外，还受到环境条件和栽培技术的影响，肥料的合理施用是水稻栽培中至关重要的环节^[14]。研究显示，秸秆还田导致水稻前期生长缓慢，但能显著提高中后期的生长指标^[13, 15]。本试验结果显示，在紫云英和稻秸秆还田条件下，不同施肥量对水稻分蘖期株高、绿叶数、叶片 SPAD 值以及地上部干重影响较小，处理间差异不显著。与对照相比，各减肥处理水稻分蘖期茎蘖数有所减少，其中减肥 30% 和减肥 40% 处理下降明显，且均与对照差异显著。分

蘖期根干重和根体积变化趋势较为一致，均表现为减肥处理大于对照。至抽穗扬花期表现为减肥 20% 和 30% 处理水稻株高和地上部干重显著高于对照和减肥 40% 处理。茎蘖数的差异较分蘖期缩小，绿叶数和根体积处理间也无显著差异。这表明在本试验条件下，适当减少化肥施用量有助于水稻株高以及地上部干质量的增加，过量则会抑制。常规施肥促进了水稻分蘖，分蘖期茎蘖数高于各减肥处理，但到抽穗扬花期则不再有优势，各处理间差异不显著。说明常规施肥会使水稻产生较多的无效分蘖，生育后期穗数少于减肥的处理。与李思平等^[11]的研究结果有所不同，本试验施肥量对分蘖

期水稻根体积和根干重影响较大,不同生育期均表现为减肥处理大于常规对照。表明适量减肥有利于刺激水稻根系的生长。同时,适量减肥促进了水稻中后期地上部干质量的增加。综合分析水稻生长指标在不同生育期表现出的变化,原因可能是,相较于速效化肥,秸秆还田腐解释放养分较慢,分蘖期还田的紫云英和稻秸还未分解为可供植物利用的养分,土壤中养分含量较低,减肥对水稻前期生长影响较明显,而到抽穗扬花期由于秸秆腐解养分的释放,减肥处理各指标逐渐上升。

关于紫云英和化肥配施对水稻产量及其构成的影响研究显示^[16-19],减量20%~40%氮肥配施紫云英能保持甚至提高水稻产量;翻压紫云英后适当减少(20%左右)化肥施用量,有利于水稻有效穗数、穗粒数及实粒数等经济学性状的形成,但过量减肥(40%~60%)水稻产量则会显著降低。与前人研究结果相似,本试验在冬种紫云英并与稻秸秆联合还田下,减少40%以内的肥料施用量并未造成水稻显著减产。相反,适量减肥(减肥20%~30%)有助于穗数、穗粒数以及结实率的提升,从而使水稻产量较对照有所增加,继续减少施肥量(减肥40%)水稻产量则有所下降。分析原因,可能是由于紫云英和稻秸还田后,腐解产生更多的养分来供植物吸收利用,可部分替代化肥满足水稻生长的需求。此时如果仍按常规用量施肥会带来养分供应过量的不利影响,但如果过量减施化肥也会因养分供应不足而降低稻谷产量。因此,在绿肥和稻秸还田的条件下,可适当降低肥料施用比例,避免浪费和环境污染。

稻米品质受遗传因素、自然环境和栽培条件等因素的影响^[20],RVA谱特征值与稻米蒸煮食味品质密切相关^[14, 21]。关于施氮量对稻米品质的影响研究较多。唐先干等^[18]试验显示,紫云英配施20%减量化肥提高了整精米率、垩白度与胶稠度,降低了蛋白质含量,稻米品质提升。于新等^[14]研究了施氮量对半糯型粳稻品质的影响,结果表明,垩白率、垩白度和直链淀粉含量随施氮量的增加而降低;糙米率、精米率和整精米率则随施氮量的增加而增加;粒长、粒宽及长/宽在施氮水平间无显著差异;随施氮量的增加,峰值黏度逐渐下降,消减值升高,热浆黏度、最终黏度、崩解值、回复值和峰值时间变化无明显规律。本研究结果显示,翻压紫云英和水稻秸秆还田条件下,减肥

30%显著提高了水稻糙米率,适量减肥处理(减肥20%~30%)水稻糙米率、精米率和整精米率均高于对照和减肥40%的处理,同时稻米垩白率和垩白度降低,有助于水稻加工和外观品质的提升。不同施肥量处理对稻米粒型产生影响,减肥20%和30%的处理籽粒较对照粒长更长,减肥40%处理的粒型则更偏圆。对水稻蒸煮品质的影响无明显表现规律,减肥20%处理的直链淀粉含量显著高于对照和减肥30%处理,不同处理间稻米胶稠度变化不明显,受施肥量影响较小。减少施肥量促进了稻米RVA谱特征值二级参数崩解值的增加和消减值的降低,对提升稻米食味品质有积极的作用。

4 结论

本试验条件下,紫云英和稻秸秆还田配合70%~80%常规施肥量,水稻的生长指标有所提升,平均产量高于常规施肥处理和60%施肥量处理,同时有助于稻米加工品质、外观品质以及食味品质的改善。在节约成本、实现优质和高产、提升水稻种植效益方面有着积极意义。

参考文献:

- [1] Zhang F S, Chen X P, Vitousek P. Chinese agriculture: an experiment for the world [J]. *Nature*, 2013, 497 (7447): 33-35.
- [2] 利培星, 稻-油轮作体系纳入绿肥种植的作物生产、节肥与培肥效应 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2018.
- [3] 刘威, 秦自果, 耿明建, 等. 冬种绿肥和稻草全量还田对单季稻田土壤理化性质的影响 [J]. *中国土壤与肥料*, 2017 (4): 55-61.
- [4] 薛斌, 殷志遥, 肖琼, 等. 稻-油轮作条件下长期秸秆还田对土壤肥力的影响 [J]. *中国农学通报*, 2017, 33 (7): 134-141.
- [5] Xu H S, Li D Y, Zhu B, et al. CH₄ and N₂O emissions from double-rice cropping system as affected by Chinese milk vetch and straw incorporation in southern China [J]. *Frontiers of Agricultural Science and Engineering*, 2017, 4 (1): 59-68.
- [6] Zhou G P, Gao S T, Chang D N, et al. Using milk vetch (*Astragalus sinicus* L.) to promote rice straw decomposition by regulating enzyme activity and bacterial community [J]. *Bioresource Technology*, 2021, 319: 1-11.
- [7] 朱菜红, 董彩霞, 沈其荣, 等. 配施有机肥提高化肥氮利用效率的微生物作用机制研究 [J]. *植物营养与肥料学报*, 2010, 16 (2): 282-288.
- [8] 张璐, 张文菊, 徐明岗, 等. 长期施肥对中国3种典型农田土壤活性有机碳库变化的影响 [J]. *中国农业科学*, 2009,

- 42 (5): 1646–1655.
- [9] 李勇, 曹红娣, 储亚云, 等. 麦秆还田氮肥运筹对水稻产量及土壤氮素供应的影响 [J]. 土壤, 2010, 42 (4): 569–573.
- [10] Chen Z M, Wang H Y, Liu X W, et al. Changes in soil microbial community and organic carbon fractions under short-term straw return in a rice–wheat cropping system [J]. Soil and Tillage Research, 2017, 165: 121–127.
- [11] 李思平, 丁效东, 曾路生, 等. 秸秆还田与化肥减施对水稻生长指标及光合参数的影响 [J]. 水土保持学报, 2020, 34 (2): 208–215.
- [12] 李峰, 周方亮, 黄雅楠, 等. 减施化肥下紫云英和秸秆还田对土壤养分及活性有机碳的影响 [J]. 华中农业大学报, 2020, 39 (1): 67–75.
- [13] 吕玉虎, 郭晓彦, 李本银, 等. 翻压不同量紫云英配施减量化肥对土壤肥力和水稻产量的影响 [J]. 中国土壤与肥料, 2017 (5): 94–98.
- [14] 于新, 赵庆勇, 刘燕青, 等. 施氮量对半糯梗稻新品种 (系) 产量和品质的影响 [J]. 西南农业学报, 2016, 29 (7): 1633–1638.
- [15] 金鑫, 蔡林运, 李刚华, 等. 小麦秸秆全量还田对水稻生长及稻田氧化还原物质的影响 [J]. 中国土壤与肥料, 2013 (5): 80–85.
- [16] 廖育林, 鲁艳红, 谢坚, 等. 紫云英配施控释氮肥对早稻产量及氮素吸收利用的影响 [J]. 水土保持学报, 2015, 29 (3): 190–196.
- [17] 张璐, 黄晶, 高菊生, 等. 长期绿肥与氮肥减量配施对水稻产量和土壤养分含量的影响 [J]. 农业工程学报, 2020, 36 (5): 106–111.
- [18] 唐先干, 谢金水, 徐昌旭, 等. 红壤性稻田紫云英与化肥减施对早稻品质与养分吸收的影响 [J]. 中国水稻科学, 2021, 35 (5): 466–474.
- [19] 谢志坚, 徐昌旭, 许政良, 等. 翻压等量紫云英条件下不同化肥用量对土壤养分有效性及水稻产量的影响 [J]. 中国土壤与肥料, 2011 (4): 79–82.
- [20] Bao J S, Shen S Q, Xia Y W. Analysis of genotype × environment interaction effects for starch pasting viscosity characteristics in indica rice [J]. Acta Genet Sin, 2006, 33 (11): 1007–1013.
- [21] 隋炯明, 李欣, 严松, 等. 稻米淀粉 RVA 谱特征与品质性状相关性研究 [J]. 中国农业科学, 2005, 38 (4): 657–663.

Effects of chemical fertilizer reduction after milk vetch combined with rice straw returning on rice growth, yield and quality

ZHOU Ying¹, WANG Lin^{2*}, WEI Qi-shun¹, GUO Cheng-bao¹, YIN Hong-bao³, ZHOU Xue-zhen³ (1. Nanjing Institute of Agricultural Sciences in Jiangsu Hilly Area, Nanjing Jiangsu 210046; 2. College of Rural Revitalization, Jiangsu Open University, Nanjing Jiangsu 210036; 3. Nanjing Junsheng Ecological Agriculture Co., Ltd., Nanjing Jiangsu 211599)

Abstract: A field experiment was conducted to study the effects of milk vetch combined with rice straw returning under different fertilization application rates on the growth and quality of japonica rice variety Nanjing 46. The results showed that reducing fertilization had slight effect on plant height, number of green leaves, dry weight of shoot and SPAD value of leaves at tillering stage, and there was no significant difference among treatments. The number of tillers decreased compared with the control, but the root volume and dry weight increased significantly. The plant height of rice treated with 20% and 30% fertilization reduction was significantly higher than that of conventional fertilization (CK) and 40% fertilization reduction treatment at heading and flowering stage; root dry weight and aboveground dry weight were greater than those of the CK. Under this experimental condition, different fertilization treatments had effect on rice yield. 20% fertilization reduction treatment had the highest average yield, which increased by 18.6% compared with CK, followed by 30% fertilization reduction treatment, increasing by 16.4%. The yield of both treatments was significantly higher than that of 40% fertilization reduction treatment and CK. The effect of increasing yield mainly showed on the increase of spike number, grain number per spike and ripening percentage. The results showed that 30% fertilization reduction significantly increased the brown rice rate, while moderate fertilization reduction (20% ~ 30%) increased the brown rice rate and the milled rice rate at the same time reduced the chalky grain rate and chalkiness degree of rice, which was helpful to improve the processing quality and appearance quality. Different fertilization treatments had effects on grain shape of rice, amylose content, final viscosity and breakdown viscosity, but had no significant effects on gel consistency and peak viscosity, though viscosity, setback viscosity, peak viscosity time and Initial gelatinization temperature of rice. In conclusion, under the rice-green manure rotation mode, milk vetch and rice straw returning combined with 20% ~ 30% fertilization reduction is beneficial to improve yield and quality of rice.

Key words: rice; milk vetch; straw returning; fertilizer reduction; growth index; yield; rice quality