doi：10.11838/sfsc.1673-6257.21333

皖南单季稻区种植利用紫云英对水稻产量、氮肥利用率及稻米品质的影响

卜容燕[1]，韩　上[1]，程文龙[1]，胡　润[2]，朱　勤[2]，李　敏[1]，
王　慧[1]，唐　杉[1]，武　际[1*]

（1. 安徽省农业科学院土壤肥料研究所 / 养分循环与资源环境安徽省重点实验室，安徽　合肥　230031；
2. 池州市农业科学研究所，安徽　池州　247100）

摘　要：为了探明种植利用紫云英在稻田系统的化学氮肥替代潜力，通过4年田间定位试验，设置冬闲+不施氮（-N）、冬闲+100% N（100% N）、紫云英+不施氮（GM）、紫云英+40% 氮肥（GM+40% N）、紫云英+60% 氮肥（GM+60% N）和紫云英+80% 氮肥（GM+80% N）共6个处理，研究不同处理对水稻产量、氮素吸收、氮肥利用率和品质的影响。结果表明，GM+80% N处理水稻产量、氮素积累量、糙米率、整精米率、垩白粒率、蛋白质和锌含量与100% N处理差异不显著，氮肥利用率、精米率、钙、镁和铁含量显著高于100% N处理（$P<0.05$），垩白度和直链淀粉含量显著低于100% N处理（$P<0.05$）；GM+60% N处理水稻产量、糙米率、整精米率、垩白粒率、垩白度和锌含量与100% N处理差异不显著，氮肥利用率、精米率、钙、镁和铁含量显著高于100% N处理（$P<0.05$），氮素积累量、直链淀粉和蛋白质含量显著低于100% N处理（$P<0.05$）。GM+60% N处理水稻产量、氮素积累量、糙米率、精米率、整精米率、垩白粒率、直链淀粉、蛋白质、钙、镁、铁和锌含量与GM+80% N处理差异不显著，但氮肥利用率低于GM+80% N处理。综上所述，在紫云英翻压还田的基础上，水稻季氮肥减施40%比较适宜，且有利于水稻节肥增效并获得优质稻米。

关键词：紫云英；水稻；产量；稻米品质

近年来，随着经济的快速发展和人民生活水平的不断提高，人们对优质稻米的需求进一步提高。稻米的品质除了受水稻基因型和气候条件影响外，肥料的影响不可忽视，尤其是氮肥的投入[1-3]。传统农业在生产中过度依赖化学肥料，不仅带来了较多的资源浪费，还造成了严重的环境污染问题[4]。因此，如何通过合理的施肥来实现水稻产量、品质和肥料利用效率的同步提升是目前亟须解决的问题。

紫云英是传统的稻田豆科绿肥，在我国南方稻作区，利用冬闲田种植紫云英不仅可以充分地利用光热资源[5]，还可以利用其生长过程中的生物固氮作用补充土壤氮库，具有培肥土壤的作用[6-7]。紫云英植株含有丰富的氮素，翻压还田后能释放大量的养分供下季水稻吸收利用[8]。Cai等[9]对紫云英体内的氮来源进行定量化研究发现，有78% 的氮素来自生物固氮，翻压还田后带入土壤的氮素高达93 kg/hm^2。不同于化学氮肥，Zhu等[10]研究指出紫云英腐解释放的氮更能匹配水稻氮素需求，因此，在稻田系统种植利用紫云英，可在保障水稻产量的同时适当减少化学氮肥投入，具有较高的经济和环境效益[11]。

氮素作为植物体内重要的组成成分，不仅影响水稻的产量，对优质稻米的形成也是至关重要的[12]。长期以来，国内外在施肥对稻米品质方面进行了大量研究，尤其是在氮肥方面开展的研究相对较多。如张洪程等[13]、刘代银等[14]的研究均表明增施氮肥有利于提高稻米加工、营养和食味品质。在不同氮肥种类方面，侯均昊等[15]研究表明，缓控释肥通过缓慢释放养分满足作物不同生长期养分需求来提高稻米的外观和营养品质。周江民[16]研究表明，适宜有机肥和无机肥配施下稻米品质更佳。以上研究均表明氮肥用量和氮肥种类对稻米品

收稿日期：2021-06-06；**录用日期：**2021-10-09

基金项目：安徽省自然科学基金项目（2008085QD165）；安徽省科技重大专项（202003a06020008）；国家自然科学基金青年基金项目（41807106）；现代农业产业技术体系建设专项（绿肥，CARS-22）。

作者简介：卜容燕（1985-），助理研究员，博士，主要从事土壤培肥和氮素循环方面的研究。E-mail：burongyan@163.com。

通讯作者：武际，E-mail：wuji338@163.com。

质具有明显的影响，然而目前关于种植利用紫云英替代部分氮肥对稻米品质影响的研究鲜见报道。随着人们对优质稻米的需求不断增加，明确紫云英替代部分氮肥对稻米品质的影响具有重要意义。为此，本文利用已有的定位试验研究紫云英替代部分氮肥对水稻产量、氮素吸收、氮肥利用率和品质的综合影响，以期为优质水稻的生产提供科学依据。

1　材料与方法

1.1　试验区概况

供试田块位于安徽省池州市贵池区（30°38′8″ N，117°24′34″ E），该地区属于典型的北亚热带季风气候区，年平均降水量 1600 mm，年平均日照时数 1800 h，年平均气温 16.5℃；供试土壤属于河流冲积物发育的水稻土，质地为黏土。试验前土壤基本理化性质为：有机质 20.2 g/kg、全氮 1.3 g/kg、有效磷 13.1 mg/kg、速效钾 62.4 mg/kg、pH 6.10、土壤容重 1.25 g/cm^3。

1.2　试验设计

田间试验开始于 2017 年，本研究选取了其中的 6 个处理，分别为：（1）冬闲，水稻季不施氮肥（简称 –N）；（2）冬闲，水稻季施常规氮肥（202.5 kg/hm^2）（简称 100% N）；（3）种植利用紫云英，水稻季不施氮肥（简称 GM）；（4）种植利用紫云英，水稻季施 40% 常规氮肥（简称 GM+40% N）；（5）种植利用紫云英，水稻季施 60% 常规氮肥（简称 GM+60% N）；（6）种植利用紫云英，水稻季施 80% 常规氮肥（简称 GM+80% N）。所有处理紫云英不施肥，水稻季均施用 75 kg/hm^2 磷肥和 150 kg/hm^2 钾肥。每个处理设 3 次重复，小区面积为 20 m^2，随机区组排列。水稻季氮肥分基肥、分蘖肥和穗肥 3 次施用，施用比例分别为 50%、20% 和 30%。各处理磷肥和钾肥均一次性基施。紫云英采用撒播的方式播种，播种量为 30 kg/hm^2。次年水稻移栽前 20 ~ 25 d 翻压，鲜紫云英翻压量控制在 20000 ~ 22500 kg/hm^2 之间。如果当年紫云英生长量不足 20000 kg/hm^2，则进行补充；如果紫云英鲜草量超过 22500 kg/hm^2，则刈割移出。通过养分测定，2017 ~ 2020 年每个试验小区每年紫云英带入的氮量为 51.5 ~ 55.9 kg/hm^2。水稻采用育秧移栽，移栽密度为 20 万蔸 /hm^2。氮、磷、钾肥分别为尿素（N 46%）、过磷酸钙（P_2O_5 12%）和氯化钾（K_2O 60%）。紫云英品种为“弋江籽”，水稻品种为当地的主推品种“晶两优华占”。田间管理按照常规的栽培技术要求进行，病虫害及杂草的防治同当地农田管理措施一致。

1.3　测定指标及方法

氮素含量：每季水稻收获当天在每个小区随机选择 6 株水稻地上部样品，分籽粒和茎秆于 105℃杀青 30 min，然后所有样品经过 60℃烘干磨细过筛，用于氮素含量测定。采用浓 H_2SO_4–H_2O_2 消化后用凯氏定氮法测定氮含量[17]。

外观品质：水稻成熟期时在每个小区随机选取代表性植株 6 蔸，脱粒后采用水漂法选出饱粒，使用砻谷机出糙后，计算糙米率；然后使用精米机（LTJM–2099，浙江托普仪器公司，杭州）出精，计算精米率；使用稻米外观品质检测仪（JMWT12，北京东孚久恒仪器技术有限公司，北京）测定稻米垩白粒率和垩白度。

营养品质：整精米磨成粉末。稻米直链淀粉含量按 NY/T 2639–2014《稻米直链淀粉含量的测定 分光光度法》方法测定[18]。蛋白质含量按 GB 5009.5–2016《食品中蛋白质的测定方法》[19] 方法测定。微波消解后采用 ICP–MS 型电感藕合等离子质谱仪（美国 Thermo Fisher Scientific 公司）测定稻米矿质元素（锌、镁、铁、铜和锰）含量。

水稻产量：各个小区单打单收测产。

1.4　计算方法

氮肥利用率（RE_N，%），反映了作物对施入土壤中肥料氮的回收效率，即 $RE_N=(U–U_0)/F\times100$，其中，U、U_0 分别为施氮、不施氮时作物收获期地上部总吸氮量，F 代表氮肥投入量。

1.5　数据分析

试验数据采用 Excel 2016 和 SPSS 17.0 进行分析整理，并采用最小显著性法（LSD）检验数据的差异显著性（$P<0.05$），采用 Origin 2017 进行一元二次肥料效应方程拟合，所有图形均用 Origin 2017 进行绘制。

2　结果与分析

2.1　不同施肥处理对水稻产量、氮素吸收和氮肥利用率影响

2.1.1　产量

不同处理下的水稻产量如表 1 所示。不施氮肥处理（–N）的水稻产量最低，为 6313 kg/hm^2。常规施氮处理（100% N）水稻产量为 9266 kg/hm^2，

比不施氮肥处理增产 46.8%。种植利用紫云英，水稻季不施氮肥处理，水稻产量为 7005 kg/hm^2，比不施氮肥处理增产 11.0%（P<0.05）。种植利用紫云英的基础上，水稻产量随着氮肥用量（N 81 ~ 162 kg/hm^2）的增加表现为逐渐增加的趋势，增幅为 28.8% ~ 49.6%。在种植翻压紫云英的基础上减施 40% 化学氮肥后水稻产量与常规施氮处理无显著差异，但是当氮肥用量低于常规氮肥用量 40% 后水稻产量显著降低，降幅为 7.9%（P<0.05）。

2.1.2　氮素吸收

不同施肥处理对水稻氮素吸收影响较大（表 1）。所有施肥处理水稻籽粒和秸秆氮素积累量均显著高于 –N 处理（P<0.05）。其中 100% N 和 GM+80% N 处理氮素总吸收量最高，分别为 156.7 和 157.2 kg/hm^2。其次是 GM+60% N 处理，为 147.2 kg/hm^2，比 100% N 处理低 6.5%（P<0.05）。从水稻不同部位氮素分配角度分析可知，GM+60% N 处理籽粒氮素吸收量占总吸收量的比例最大，为 65.3%；其次是 GM+80% N 处理，为 63.1%。虽然 100% N 处理水稻氮素总吸收量较高，但是籽粒氮素吸收量占总吸收量的比例为 61.3%，低于种植利用紫云英处理，说明种植利用紫云英配施适宜的氮肥用量有利于促进水稻籽粒氮素的吸收。

2.1.3　氮肥利用率

不同施肥处理对水稻季氮肥利用率具有明显影响（表 1）。100% N 处理氮肥利用率为 33.0%。在种植利用紫云英的基础上，水稻季氮肥利用率为 36.8% ~ 41.7%，均显著高于 100% N 处理（P<0.05）。以上表明种植利用紫云英有利于提高水稻季氮肥利用率。

表 1　不同施肥处理对水稻产量、氮素吸收和氮肥利用率的影响

处理	产量（kg/hm^2）	增产率（%）	氮素吸收				氮肥利用率（%）
			籽粒（kg/hm^2）	秸秆（kg/hm^2）	总吸收量（kg/hm^2）	籽粒氮吸收占比（%）	
–N	6313d		53.2e	36.6d	89.8e	59.3d	
GM	7005c	11.0	60.2d	37.4d	97.7d	61.7c	
GM+40% N	8130b	28.8	82.6c	48.9c	131.5c	62.8ab	41.7a
GM+60% N	9207a	45.8	96.2a	51.0b	147.2b	65.3a	40.8a
GM+80% N	9442a	49.6	99.2a	58.0a	157.2a	63.1ab	36.8b
100% N	9266a	46.8	96.0a	60.7a	156.7a	61.3bc	33.0c

注：同一列不同字母表示不同处理存在显著差异（P<0.05）。下同。

2.2　不同施肥处理对稻米品质的影响

2.2.1　稻米加工和外观品质

表 2 表明不同处理对稻米加工和外观品质有明显的影响。与 –N 处理相比，施肥处理均能提高稻米的糙米率、精米率和整精米率，降低了稻米的垩白度，对垩白粒率影响不显著。其中单施化肥处理稻米的糙米率、精米率和整精米率分别增加 2.4%、1.1% 和 4.1%，垩白度下降 6.3%。种植利用紫云英配施 60%、80% 化学氮肥处理稻米的糙米率、精米率和整精米率均高于单施化肥处理，垩白度低于单施化肥处理。这表明种植利用紫云英的基础上配施合理的氮肥可以有效地改良稻米的加工和外观品质。

表 2　不同施肥处理对稻米的加工和外观品质的影响　（%）

处理	糙米率	精米率	整精米率	垩白粒率	垩白度
–N	78.4c	71.1b	63.5b	19.1a	6.3a
GM	80.4a	72.9a	65.8a	19.4a	5.4c
GM+40% N	79.6bc	72.3ab	65.5a	19.3a	5.7b
GM+60% N	80.8a	73.2a	66.2a	19.2a	5.8b
GM+80% N	80.7a	73.6a	66.6a	19.4a	5.5c
100% N	80.2ab	71.9b	66.1a	19.2a	5.9b

2.2.2　稻米直链淀粉和蛋白质含量

由图 1 可知，不同施肥处理稻米的直链淀粉含量为 13.3% ~ 17.6%。不施肥处理稻米的直链淀粉含量最高，施肥均不同程度降低了稻米的直链淀粉含量，降幅为 17.6% ~ 24.7%，达到显著水平。从不同施肥处理看，种植利用紫云英基础上配施化学氮肥处理有利于降低稻米的直链淀粉含量，降幅为 3.7% ~ 8.4%，GM、GM+40% N 和 GM+60% N 3 个处理的稻米直链淀粉含量最低。

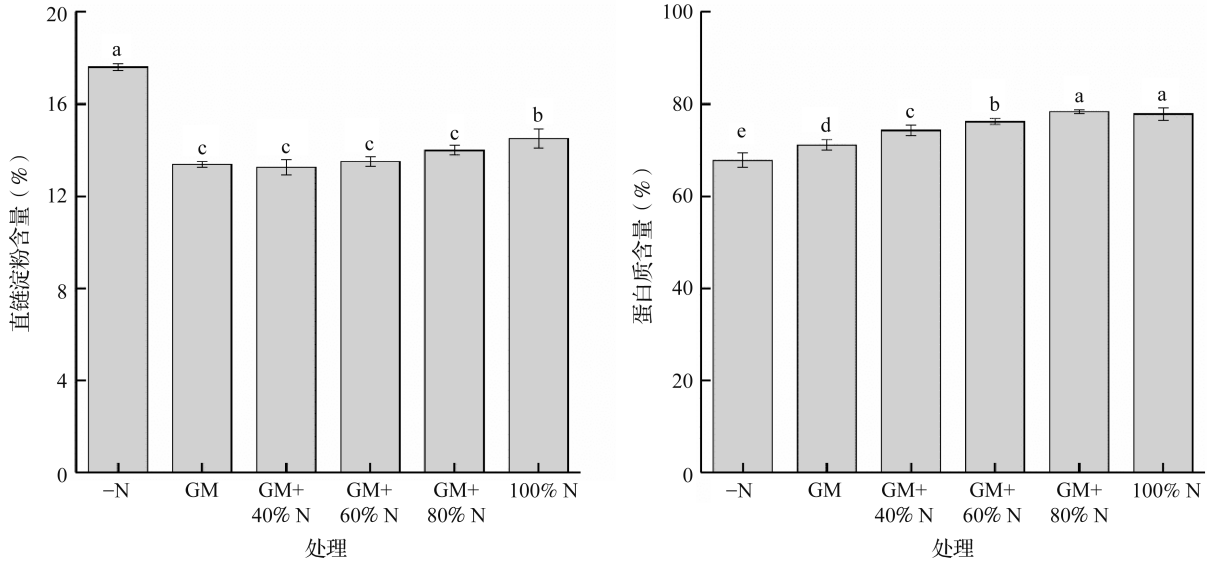

图 1　不同施肥处理对稻米的直链淀粉和蛋白质含量的影响

注：柱上不同字母表示处理间存在显著差异（$P<0.05$）。

与直链淀粉含量变化趋势不同，不施肥处理稻米蛋白质含量最低，施肥均不同程度地增加了稻米的蛋白质含量。总体上表现为随着氮肥用量的增加表现为增加的趋势。其中 GM+80% N 和 100% N 处理稻米蛋白质含量差异不显著，分别为 78.4% 和 77.8%。

2.2.3　稻米矿质元素含量

由表 3 可知，不同施肥处理下稻米钙、镁、铁、锌含量的变化趋势一致，与 –N 处理相比，施氮后稻米钙、镁、铁、锌含量增加。100% N 处理较 –N 处理，其钙、镁、铁、锌的含量分别显著提高 23.5%、8.8%、3.1%、1.2%。种植利用紫云英可以提高稻米钙、镁、铁、锌的含量，其中以 GM+80% N 处理增幅最大，其钙、镁、铁、锌的含量较 –N 处理分别显著提高了 41.3%、24.9%、12.7%、4.9%；较 100% N 处理分别显著提高了 14.4%、14.8%、9.4%、3.7%。

表 3　不同施肥处理稻米钙、镁、铁、锌含量的影响　（mg/kg）

处理	钙	镁	铁	锌
–N	308.22d	326.71d	15.8c	21.6b
GM	343.43c	368.05bc	16.5b	22.7a
GM+40% N	376.38b	367.61c	17.4a	22.2a
GM+60% N	423.91a	388.40ab	17.8a	22.7a
GM+80% N	435.55a	408.10a	17.8a	22.7a
100% N	380.68b	355.39c	16.3b	21.9ab

3　讨论

3.1　不同施肥处理对水稻产量、氮素吸收和氮肥利用率的影响

本试验结果表明，在经过了4年种植利用紫云英后，化学氮肥用量减量40%下水稻产量不减产。这个结果与高嵩涓等[11]研究结果相似。紫云英是典型的豆科绿肥，可以通过与根瘤菌共生固定大气中氮气[5, 20]，杨璐[21]研究表明紫云英体内有59% ~ 85%的氮来自生物固氮。在紫云英－水稻轮作系统中，紫云英于盛花期翻压还田后可释放其体内积累的氮素供下茬水稻吸收利用。在本试验条件下，通过对紫云英的生物量和氮积累量进行估算可知，每年紫云英还田生物量在20000 ~ 22500 kg/hm^{2}之间，带入的氮量为51.5 ~ 55.9 kg/hm^2，这部分带入的氮是增加水稻产量和氮素吸收的重要原因。另外，长期紫云英还田，有利于改善土壤肥力[22-23]。一方面大量的紫云英还田可以增加土壤的有机碳输入，增加土壤养分含量[24]；另一方面低碳氮比的有机物料还田可以增加土壤微生物的多样性和丰富度，改善土壤氮素的有效性[25]。有研究认为，紫云英还田后释放的氮素比化学氮肥更匹配水稻氮营养的需求[10]。氮同位素示踪试验结果表明，紫云英还田后，水稻体内有25% ~ 45%的氮素来源于紫云英[26]，因此，紫云英是水稻很好的养分来源。除此之外，紫云英腐解初期会固定土壤中过多的氮素，减少氮素损失，这部分被固定的氮素在水稻生育后期可以释放供水稻吸收利用[27]。本试验结果也表明，种植利用紫云英的基础上配施适宜的氮肥可以提高水稻季氮肥利用效率，经过了4年紫云英翻压还田后，可以替代水稻季40%的化学氮肥，有利于水稻节肥增效。

3.2　不同施肥处理对稻米品质的影响

稻米的品质除受遗传因素调控外，其生育过程中施肥措施会对稻米品质产生较大的影响[28]。大量研究表明在作物生长过程中氮素营养状况是决定作物产量和品质的关键因素之一[29-30]。孟琳等[31]研究认为有机肥替代10% ~ 20%化学氮肥用量，可以改善土壤氮素供应过程，为水稻的生长持续提供养分，从而提高了水稻的产量和品质。俞卫星等[32]和李武等[33]研究也表明，与速效化学氮肥施用相比，缓释氮肥施用更有利于提高稻米品质。在水稻生长前期施氮主要影响水稻分蘖数和单位面积穗数；水稻生长后期施氮主要是影响水稻的产量和品质[34]。已研究指出紫云英仅生物固氮就能为下茬水稻提供24 ~ 55 kg/hm^{2}的氮素营养[35]。Singh等[26]研究发现水稻体内有25% ~ 45%的氮素来源于豆科氮素。Zhu等[10]研究指出紫云英释放的氮素能更好地匹配水稻的氮素需求。除此之外，在改善土壤碳库和氮库的同时，长期紫云英还田也带来了大量的磷、钾和其他的中微量元素等养分，从而促进了水稻的生长和养分吸收，提高了稻米的品质[36]。种植利用紫云英的基础上，合理减施化学氮肥能确保水稻各个时间养分稳定供应，提高了水稻籽粒产量和改善了稻米品质。本研究中氮肥类型和用量均会对稻米品质指标产生不同程度的影响，种植利用紫云英后有利于改善稻米品质，但与100% N处理相比，种植紫云英后，配施的化学氮肥用量不足时对稻米的加工品质影响不大，但不利于稻米的外观品质和营养品质。这与唐继伟等[2]研究结果一致，无论是有机肥氮还是化学氮肥，适宜氮肥用量条件下稻米品质较好，氮肥用量不足或者过量均不利用稻米品质。当达到一定氮用量时，适宜的有机无机配施更有利于提高水稻的品质。在本研究中，GM+80% N处理稻米加工品质、外观品质和营养品质最佳；其次是GM+60% N处理。其中GM+60% N处理稻米的糙米率、精米率、整精米率、垩白粒率、直链淀粉、钙、镁、铁和锌含量与GM+80% N处理差异不显著；但垩白度和蛋白质含量显著低于GM+80% N处理（P <0.05）；当化学氮肥用量低于60%常规氮肥用量时，水稻的产量和品质均受到不同程度的影响。这说明首先要保障作物的氮素需求，然后进行合理的有机无机配施才是改善水稻品质的关键。梁琴等[36]研究也表明绿肥配施适量的氮肥有利于提高稻米的整精米率。因此在本试验条件下，在种植利用紫云英的基础上减施40%化学氮肥较为合适，有利于水稻获得高产和改善稻米品质。

4　结论

4年田间定位试验研究表明，在长期种植利用紫云英的基础上，适量减水稻季化学氮肥用量对水稻产量、氮素吸收、氮肥利用率和品质均具有显著的影响。与常规施氮处理相比，在种植利用紫云英的基础上，水稻季减施40%化学氮肥不会降低水稻的产量，有利于提高水稻季氮肥利用率和稻米的

糙米率、精米率、整精米率、钙、镁、铁及锌含量，降低了垩白度、直链淀粉和蛋白质含量。综合考虑作物的产量、氮肥利用率和品质效应，在本试验条件下，种植利用紫云英、水稻季氮肥减施40%比较适宜，有利于水稻节肥增效并获得优质稻米。

参考文献：

[1] 王伟妮，鲁剑巍，何予卿，等. 氮、磷、钾肥对水稻产量、品种及养分吸收利用的影响[J]. 中国水稻科学，2011，25（6）：645–653.

[2] 唐继伟，孙文彦，田昌玉，等. 不同氮肥类型和用量对小麦产量和加工品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报，2021，27（4）：728–740.

[3] 郭晓红，姜红芳，王鹤璎，等. 氮肥运筹对寒地水稻籽粒植酸、蛋白质和矿质元素的影响[J]. 核农学报，2020，34（7）：1534–1542.

[4] 任世鑫，李二玲，邓晴晴，等. 中国三大粮食作物化肥施用特征及环境风险评价[J]. 长江流域资源与环境，2019，28（12）：2936–2947.

[5] 曹卫东，包兴国，徐昌旭，等. 中国绿肥科研60年回顾与未来展望[J]. 植物营养与肥料学报，2017，23（6）：1450–1461.

[6] 李继明，黄庆海，袁天佑，等. 长期施用绿肥对红壤稻田水稻产量和土壤养分的影响[J]. 植物营养与肥料学报，2011，17（3）：563–570

[7] 高菊生，徐明岗，董春华，等. 长期稻–稻–绿肥轮作对水稻产量及土壤肥力的影响[J]. 作物学报，2013，39（2）：343–349.

[8] 刘小粉，贺小思，易柏宁，等. 有机肥绿肥配施对水稻土有机碳组分和水稻产量的影响[J]. 中国土壤肥料，2020（5）：147–151.

[9] Cai S，Pittelkow C M，Zhao X，et al. Winter legume–rice rotations can reduce nitrogen pollution and carbon footprint while maintaining net ecosystem economic benefits[J]. Journal of Cleaner Production，2018，195：289–300.

[10] Zhu B，Yi L，Hu Y，et al. Nitrogen release from incorporated ^{15}N–labelled Chinese milk vetch（*Astragalus sinicus* L.）residue and its dynamics in a double rice cropping system[J]. Plant and Soil，2014，374：331–344.

[11] 高嵩涓，周国朋，曹卫东. 南方稻田紫云英作冬绿肥的增产节肥效应与机制[J]. 植物营养与肥料学报，2020，26（12）：2115–2126.

[12] 吕伟生，曾勇军，石庆华，等. 合理氮肥运筹提高双季机插稻产量及氮肥利用率[J]. 水土保持学报，2018，32（6）：259–268.

[13] 张洪程，王秀芹，戴其根，等. 施氮量对杂交稻两优培九产量、品质及吸氮特性的影响[J]. 中国农业科学，2003，36（7）：800–806.

[14] 刘代银，伍菊仙，任万军，等. 氮肥运筹对免耕高留茬抛秧稻氮素吸收、运转和籽粒品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报，2021，27（4）：630–642.

[15] 侯均昊，张晨晖，许轲，等. 优化控释尿素施用方式提高沙质低肥力土壤水稻产量和品质[J]. 植物营养与肥料学报，2009，15（3）：514–521.

[16] 周江民. 有机–无机肥配施对水稻产量、品质及氮素吸收的影响[J]. 植物营养与肥料学报，2012，18（1）：234–240.

[17] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京：中国农业出版社，2000.

[18] NY/T 2639–2014，稻米直链淀粉的测定 分光光度法[S].

[19] GB 5009.5–2016，食品中蛋白质的测定方法[S].

[20] 李峰，周方亮，黄雅楠，等. 紫云英和秸秆还田对土壤肥力性状的影响[J]. 中国土壤与肥料，2020（3）：75–81.

[21] 杨璐. 紫云英种植及与稻草协同利用的减肥效应和紫云英固氮调控机制[D]. 北京：中国农业科学院，2019.

[22] 刘颖颖，卜容燕，唐杉，等. 连续秸秆–紫云英协同还田对双季稻产量、养分积累及土壤肥力的影响[J]. 植物营养与肥料学报，2020，26（6）：1008–1016.

[23] 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.

[24] 王慧，唐杉，武际，等. 紫云英翻压条件下氮肥运筹对双季稻产量和肥料利用率的影响[J]. 农业资源与环境学报，2018，35（4）：327–333.

[25] 唐杉，王允青，赵决建，等. 紫云英还田对双季稻产量及稳定性的影响[J]. 生态学杂志，2015，34（11）：3086–3093.

[26] Singh Y，Singh B，Timsina J. Crop residue management for nutrient cycling and improving soil productivity in rice–based cropping systems in the tropics[J]. Advances in Agronomy，2004，85（4）：269–407.

[27] 鲁艳红，聂军，廖育林，等. 氮素抑制剂对双季稻产量、氮素利用效率及土壤氮平衡的影响[J]. 植物营养与肥料学报，2018，24（1）：95–104.

[28] 程方民，钟连进. 不同气候生态条件下稻米品质性状的变异及主要影响因子分析[J]. 中国水稻科学，2001，15（3）：28–32.

[29] 罗兰芳，郑圣先，廖育林，等. 控释氮肥对杂交水稻糙米蛋白质品质和氮代谢关键酶活性的影响[J]. 中国水稻科学，2007，21（4）：403–410.

[30] 陶进，钱希旸，剧成欣，等. 不同年代中籼水稻品种的米质及其对氮肥的响应[J]. 作物学报，2016，42（9）：1352–1362.

[31] 孟琳，张小莉，蒋小芳，等. 有机肥料氮替代部分无机氮对水稻产量的影响及替代率研究[J]. 植物营养与肥料学报，2009，15（2）：290–296.

[32] 俞卫星，胡新春，王新溪，等. 缓控释肥对籼粳杂交稻产量、品质和经济效益的影响[J]. 中国农学通报，2016，32（21）：1–5.

[33] 李武，邓飞，胡慧，等. 缓控释氮肥对机插杂交籼稻稻米品质的影响[J]. 核农学报，2018，32（4）：779-787.
[34] 胡群，夏敏，张洪程，等. 氮肥运筹对钵苗机插优质食味水稻产量及品质的影响[J]. 作物学报，2017，43（3）：420-431.
[35] Ashraf M，Mahmood T，Azam F，et al. Comparative effects of applying leguminous and non-leguminous green manures and inorganic N on biomass yield and nitrogen uptake in flooded rice（*Oryza sativa* L.）[J]. Biology and Fertility of Soil，2004，40（2）：147-152.
[36] 梁琴，周泽弘，马雪清，等. 绿肥翻压与氮肥减施对水稻产量、品质及土壤肥力的影响[J]. 中国农业科技导报，2021，23（10）：124-130.

Effects of Chinese milk vetch on yield，nitrogen use efficiency and quality of rice in single cropping rice area of Southern Anhui province

BU Rong-yan[1]，HAN Shang[1]，CHENG Wen-long[1]，HU Run[2]，ZHU Qin[2]，LI Min[1]，WANG Hui[1]，TANG Shan[1]，WU Ji[1*]（1. Institute of Soil and Fertilizer，Anhui Academy of Agricultural Sciences/Key Laboratory of Nutrient Cycling and Resource Environment of Anhui Province，Hefei Anhui 230031；2. Chizhou Agricultural Science Research Institute，Chizhou Anhui 247100）

Abstract：Field experiment was conducted to study the effect of Chinese milk vetch substitution for chemical nitrogen fertilizer on the rice yield，rice quality，nitrogen uptake，and the nitrogen use efficiency in rice system. There were six treatments，including winter fallow+no chemical nitrogen fertilizer（-N），winter fallow+100% chemical nitrogen fertilizer（100% N），Chinese milk vetch+no chemical nitrogen fertilizer（GM），Chinese milk vetch+40% chemical nitrogen fertilizer（GM+40% N），Chinese milk vetch+60% chemical nitrogen fertilizer（GM+60% N），Chinese milk vetch+80% chemical nitrogen fertilizer（GM+80% N）. There were no significant differences in the rice yield，nitrogen accumulation，brown rice rate，head rice rate，chalky grain rate，protein and zinc content between GM+80% N and 100% N. Nitrogen use efficiency，milled rice rate，calcium，magnesium and iron contents of GM+80% N treatment were significantly higher than those of 100% N treatment（$P<0.05$）. Chalkiness degree and amylose content were low than those of 100% N（$P<0.05$）significantly. There were no differences in the yield，brown rice rate，head rice rate，chalky grain rate，chalkiness degree and zinc content between the treatments of GM+60% N and 100% N. The nitrogen use efficiency，milled rice rate，calcium，magnesium and iron contents of GM+60% N treatment were significantly higher than that of 100% N treatment（$P<0.05$），and the nitrogen accumulation，amylose and protein content were significantly lower than that of 100% N treatment（$P<0.05$）. There were no significant differences in rice yield，nitrogen accumulation，brown rice rate，milled rice rate，head rice rate，chalky grain rate，amylose，protein，calcium，magnesium，iron and zinc contents between GM+60% N and GM+80% N，though the nitrogen use efficiency of GM+60% N was lower than that of GM+80% N. In conclusion，it is more appropriate to reduce the application of nitrogen fertilizer by 40% in rice season to increase the fertilizer efficiency and obtain the superior quality rice with the application of Chinese milk vetch.

Key words：Chinese milk vetch；rice；yield；quality of rice