

杨滨娟,张颖睿,袁嘉欣,等. 紫云英与氮肥配施对水稻氮素吸收利用的影响[J]. 江苏农业科学,2021,49(7):71-77.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2021.07.012

紫云英与氮肥配施对水稻氮素吸收利用的影响

杨滨娟,张颖睿,袁嘉欣,黄国勤

(江西农业大学农学院/江西农业大学生态科学研究中心,江西南昌 330045)

摘要:为了探明紫云英还田配施减量氮肥的作用机制,为南方稻田合理施肥提供理论指导和技术支撑。在“紫云英-双季稻”复种型农作制度基础上,采用大田试验,设置3个梯度的紫云英还田量,并配施相应的减量氮肥,以常规施肥作对照,分析不同紫云英与氮肥配施比例对水稻产量、干物质积累情况以及氮素积累的影响,并利用施氮量和水稻产量建立纯N-紫云英-水稻产量的关系模型。研究表明:紫云英 27 000 kg/hm² + 纯N 120 kg/hm² 有提高早稻产量的趋势,紫云英 45 000 kg/hm² + 纯N 60 kg/hm² 的晚稻产量最高,从全年产量来看,紫云英 36 000 kg/hm² + 纯N 90 kg/hm² 表现最佳。与常规施肥相比,翻压紫云英还田可以提高早稻中后期干物质积累比例,提高植株氮素积累量和氮收获指数。紫云英替代系数的变化表明,在早稻供氮量充足的情况下,随着紫云英还田量在全部施肥量中比例的增加,紫云英替代氮肥效应的能力逐渐减弱。

关键词:水稻;施氮水平;紫云英;氮素吸收利用;关系模型

中图分类号: S551;S344 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2021)07-0071-07

长江中下游冬闲田、冬季光温水热等资源的合理开发利用一直是我国重点关注的农业问题^[1-2]。江西、湖南等省是我国双季稻主产区,但在晚稻收

获后由于茬口紧、冬种作物品种少、经济效益低等原因,90%以上的农户会选择撂荒,造成土地和光、温、水、热资源的严重浪费^[3-5]。利用冬闲田种植紫云英、油菜等绿肥,可以美化农村环境,带动当地旅游产业的兴起和发展^[6],还可以减少粉尘扬灰,降低雾霾指数,有利于改善空气质量^[7],能够防止水土流失,改善土壤肥力,维持稻田生态环境^[8-9]。氮素是水稻生长必不可少的营养元素之一^[10],但氮肥的过量施用,不仅会导致水稻贪青晚熟、倒伏减产,降低氮肥利用效率^[11],还极易造成土壤中氮素盈余,导致农业资源浪费、水体富营养化等环境问

收稿日期:2020-07-06

基金项目:国家重点研发计划(编号:2016YFD0300208);国家自然科学基金(编号:41661070)。

作者简介:杨滨娟(1985—),女,山东淄博人,博士,助理研究员,主要从事耕作制度与农业生态研究。E-mail: yangbinjuan@jxau.edu.cn。

通信作者:黄国勤,博士,教授,主要从事作物学、生态学、农业发展与区域农业、资源环境与可持续发展等研究。E-mail: hgqjxes@sina.com。

[15] 苟洪兰. 半胱氨酸蛋白酶基因在百脉根根瘤衰老中的功能研究[D]. 武汉:华中农业大学,2012.

[16] 黄家凤,李克梅,王爱英,等. 豆科植物-根瘤菌共生固氮的分子机理[J]. 石河子大学学报(自然科学版),2002,6(1):74-78.

[17] Borisov A Y, Tsyganov V E, Ovtsyna A O, et al. Genetic programs for development of nodules and Arbuscular mycorrhiza in Legumes: solid facts and unsolved problems[C]//Sustainable Agriculture and the Environment Proceedings of the 14th International Nitrogen Fixation Congress. Springer,2004:261-263.

[18] 黎林. 豌豆早期结瘤素基因克隆及 *PsENOD12A* 与 *PsLectin* 基因导入烟草研究[D]. 重庆:西南大学,2009:1-71.

[19] Reddy P M, Aggarwal R K, Ramos M C, et al. Widespread occurrence of the homologue of the early nodulin (*ENOD*) genes in *Oryza* species and related grasses[J]. Biochemical and Biophysical

Research Communications,1999,258(1):148-154.

[20] Kouchi H, Takane K I, So R B, et al. Rice *ENOD40*: isolation and expression analysis in rice and transgenic soybean root nodules[J]. The Plant Journal,1999,18(2):121-129.

[21] Dey M, Torrizo L B, Chaudhuri R K, et al. Transgenic rice harbouring legume *ENOD40* gene[J]. Rice Genet Newsl,1999,16:147-149.

[22] 高南,李俊林,郝东利,等. *OsaKT2/3* 基因的生物信息学分析[J]. 江苏农业科学,2015,43(9):25-27.

[23] Ma Y H, Zhao Y, Shanguan X X, et al. Overexpression of *OsaRRK1* changes leaf morphology and defense to insect in rice[J]. Frontiers in Plant Science,2017,8:1-14.

[24] 马银花,李萍芳,何雨航,等. 水稻 *OsaRRK1* 蛋白的进化分析及其亚细胞定位[J]. 信阳师范学院学报(自然科学版),2020,33(3):371-376.

题^[12]。因此,如何在维持水稻产量的同时提高氮肥利用效率,减少环境污染,实现水稻优质、高产、高效是当前水稻生产亟待解决的问题^[13-14]。农业农村部启动“减肥减药”行动,力争在 2020 年实现农作物化肥、农药施用量零增长,如何做到“减肥”但不减产,有机肥的使用是关键,提高有机肥的利用率,保证土壤肥力不减,那么基础产出能力就不会降低^[15-17]。胡安永等研究发现,紫云英—水稻轮作模式下的水稻植株氮素积累量显著大于冬闲—水稻、小麦—水稻和油菜—水稻^[18-19]。Mohanty 等研究表明,与单施化肥相比,绿肥和化肥配施可以显著提高作物氮肥利用率^[20]。杨滨娟等研究表明,在紫云英盛花期,翻压 60% 的鲜草量配施常规施氮的 60% 氮肥可以有效提高氮肥利用效率,改善稻田氮素循环情况^[21]。因此,冬种紫云英配施减量氮肥是目前绿肥在水稻生产中应用的发展趋势^[22],但现有研究多是针对紫云英鲜草全量或某特定鲜草量还田后氮肥减施量的研究,鲜有研究不同紫云英鲜草量全量还田条件下氮肥的减施比例。本试验根据前期盆栽试验结果^[23],结合大田紫云英实际生长情况,分析不同紫云英鲜草量全量还田条件下,减施氮肥对水稻产量、干物质积累情况以及氮素积累的影响,利用施氮量和水稻产量建立纯 N—紫云英—水稻产量的关系模型,旨在探明紫云英还田配施减量氮肥的最优模式,为南方稻田合理施肥提供理论指导和技术支撑。

1 材料与方法

1.1 试验地地理位置与气候条件

于 2015 年 9 月至 2017 年 12 月,试验在江西农业大学科技园水稻试验田(115°55'E、28°46'N)进行。试验地属于亚热带季风性湿润气候,年均太阳总辐射量为 4.79×10^{13} J/hm²,年均日照时数为 1 852 h,年均日温 ≥ 0 °C 的积温达 6 450 °C,年降水量 1 624 mm,年平均气温在 17.1~17.8 °C。供试土壤为发育于第四纪的红黏土,为亚热带典型红壤分布区。试验前表层 0~15 cm 土壤 pH 值 5.97,碱解氮含量 23.33 mg/kg,有效磷含量 15.58 mg/kg,速效钾含量 34.75 mg/kg,有机质含量 24.58 g/kg,全氮含量 1.97 g/kg,全磷含量 0.23 g/kg,全钾含量 26.49 g/kg。

1.2 试验设计与材料

根据前期盆栽试验结果^[23],在大田试验中考虑

紫云英的实际生长情况,设定 4 个梯度的紫云英鲜草还田量,即 0、27 000、36 000、45 000 kg/hm²,设定 4 个梯度的早稻氮肥施用量,即纯 N180(常规施氮)、120、90、60 kg/hm²。每个处理 4 次重复,共 16 个小区,小区面积为 16.5 m²(5.5 m×3 m),小区之间用水泥埂隔开,以防止水肥串流。为了使大田试验更具有实际操作的意义,晚稻施肥不进行减氮处理,按常规施肥量进行,详见表 1。

表 1 大田试验设计

处理	紫云英还田量 (kg/hm ²)	早稻纯 N 施用量 (kg/hm ²)	晚稻纯 N 施用量 (kg/hm ²)
A	0	180	180
B	27 000	120	180
C	36 000	90	180
D	45 000	60	180

供试紫云英为余江大叶籽,早稻为中嘉早 17,晚稻为天优华占。紫云英播种量分别为 51.0、37.5、25.5 kg/hm²,播种时间在 2016 年 10 月 4 日,播种时用钙镁磷肥(含 P₂O₅ 12%)拌种,P₂O₅ 用量 45 kg/hm²,所用磷肥在水稻施肥总量中扣除,紫云英在盛花期(2017 年 4 月 1 日)还田,鲜草含水量 90.20%,干草含氮量 2.74%。早稻于 2017 年 3 月 27 日播种,4 月 27 日移栽,7 月 23 日收割。晚稻于 2017 年 6 月 28 日播种,7 月 29 日移栽,10 月 29 日收割。移栽时行距 23 cm,株距 20 cm,每小区 338 丛(20.48 丛/m²)。

常规施肥种类及用量:每季施纯 N 180 kg/hm²(肥料品种为尿素,含 N 46%),P₂O₅ 90 kg/hm²(肥料品种为钙镁磷肥,含 P₂O₅ 12%),K₂O 120 kg/hm²(肥料品种为氯化钾,含 K₂O 60%)。氮肥按基肥:分蘖肥:穗肥=3:4:3 施用;磷肥作基肥一次性施入;钾肥按分蘖肥:穗肥=7:3 施用。基肥在插秧前 1 d 施下,分蘖肥在水稻移栽后 5~7 d 时施用,穗肥在主茎幼穗长 1~2 cm 时施用。其他田间管理措施同一般大田。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 作物产量 冬季作物紫云英在其盛花期,采用五点法,每点测 1 m² 生物量鲜质量。水稻在成熟期每个小区随机取 5 丛植株,自然风干做考种材料,测定穗长、每穗粒数、实粒数、千粒质量和有效穗数;水稻收获时,每个小区单独打谷晾晒,测定各小区产量。

1.3.2 水稻主要生育期含氮量及氮素吸收利用效

率测定 每个时期植株干物质积累称量结束后,将其粉碎混匀,采用 $H_2SO_4 - H_2O_2$ 消化,以半微量凯氏定氮法测定植株各器官全氮含量^[24]。其他指标计算方法如下^[25]:

氮素干物质生产效率(kg/kg) = 单位面积植株干物质积累量/单位面积植株氮素积累总量;

氮素稻谷生产效率(kg/kg) = 单位面积籽粒产量/单位面积植株氮素积累总量;

氮素收获指数 = 籽粒氮素积累量/地上部氮素积累总量 × 100%;

氮素减投比 = (常规施氮量 - 实际施氮量)/紫云英还田氮素总量。

1.4 数据处理

采用 Excel 2016 软件进行数据计算统计及绘图,采用 SPSS 19.0 软件进行方差分析和多重比较,在 $\alpha=0.05$ 水平下进行方差分析,采用 Duncan's 新

复极差法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 紫云英还田与氮肥配施对水稻产量及产量构成因素的影响

从表 2 可以看出,各处理间的早稻、晚稻和全年产量均差异不显著。

从表 3 早稻数据可以看出,处理 B 的穗长最大,处理 A 最小,且显著低于处理 B 和处理 C ($P < 0.05$)。处理 B 的结实率最低,与其他处理间差异显著 ($P < 0.05$),且对照处理 A 的结实率最高,为 82.31%,较处理 B 高出 13.27%。在每穗粒数、千粒质量和有效穗数方面,各处理间差异均不显著。晚稻数据显示,各因素指标的 4 个处理之间,大小均无显著性差异。可以看出,不同的紫云英翻压量配施减量氮肥能够保持水稻产量,不会造成水稻减产。

表 2 2017 年早、晚稻产量及全年产量

处理	产量(kg/hm ²)		
	早稻	晚稻	全年
A	7 425.94 ± 776.97a	7 380.62 ± 197.64a	14 806.55 ± 885.40a
B	7 614.30 ± 613.49a	7 180.01 ± 514.33a	14 794.30 ± 655.01a
C	7 373.03 ± 554.22a	7 584.98 ± 466.45a	14 958.01 ± 697.25a
D	6 874.25 ± 656.52a	7 731.67 ± 333.43a	14 605.92 ± 789.30a

注:数据为 4 个重复的平均值 ± 标准误;同列数据后不同小写字母分别表示差异达 5% 显著水平。下表同。

表 3 2017 年早、晚稻产量构成因素

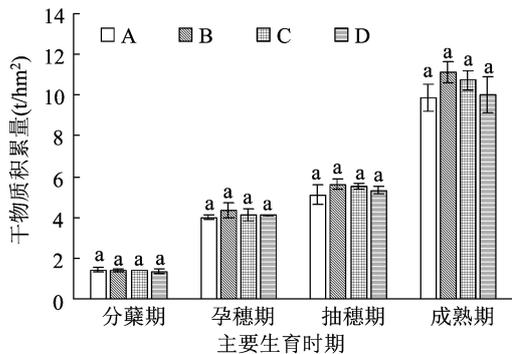
处理	穗长 (cm)	每穗粒数 (粒/穗)	结实率 (%)	千粒质量 (g)	有效穗数 (万个/hm ²)	
						早稻
早稻	A	18.70 ± 0.22b	157.63 ± 4.60a	82.31 ± 2.68a	24.91 ± 0.81ab	227.33 ± 6.53a
	B	19.81 ± 0.33a	162.51 ± 4.56a	72.67 ± 1.13b	26.86 ± 0.87a	239.10 ± 20.62a
	C	19.62 ± 0.21a	166.97 ± 4.04a	77.64 ± 0.70a	25.91 ± 0.76a	219.65 ± 15.54a
	D	19.28 ± 0.31ab	156.47 ± 3.43a	79.19 ± 1.10a	25.09 ± 1.00a	220.16 ± 12.89a
晚稻	A	21.37 ± 0.46a	158.36 ± 6.47a	82.23 ± 2.10a	25.68 ± 1.47a	223.74 ± 13.82a
	B	21.19 ± 0.28a	159.49 ± 9.41a	81.98 ± 3.31a	23.99 ± 0.52a	230.40 ± 15.36a
	C	21.50 ± 0.40a	168.91 ± 4.55a	80.32 ± 1.59a	25.38 ± 0.05a	220.16 ± 10.66a
	D	22.12 ± 0.11a	168.21 ± 3.97a	80.11 ± 2.59a	24.42 ± 0.58a	235.52 ± 7.43a

2.2 紫云英还田与氮肥配施对早稻干物质生产特性的影响

2.2.1 早稻主要生育期的干物质量 从图 1 可以看出,各时期各处理之间干物质量差异均不显著。在分蘖期,处理 A 的干物质量略高于其他处理,而在其他时期,均为处理 B 最高,各处理之间的差异随着水稻的生长越来越明显。在孕穗期、抽穗期和成熟期,各处理干物质量大小趋势一致。可以看出,紫云英与减量氮肥和常规施肥对早稻干物质积

累影响的差异主要体现在早稻生长的中后期。

2.2.2 早稻主要生育阶段干物质积累量和比例 从图 2 可以看出,在播种—分蘖期,干物质积累比例最大的是处理 A,最小的是处理 B;在分蘖—孕穗期干物质积累比例最大的是处理 D,最小的是处理 C;在孕穗—抽穗期积累比例最大的是处理 C,最小的是处理 A;在抽穗—成熟期积累比例最大的是处理 B,最小的是处理 D。可以得出,紫云英与氮肥减量配施可以提高早稻在孕穗—抽穗期阶段的干物质



同一时期不同小写字母表示不同处理间差异达 5% 显著水平。

图 3 同

图1 2017 年早稻主要生育期干物质质量

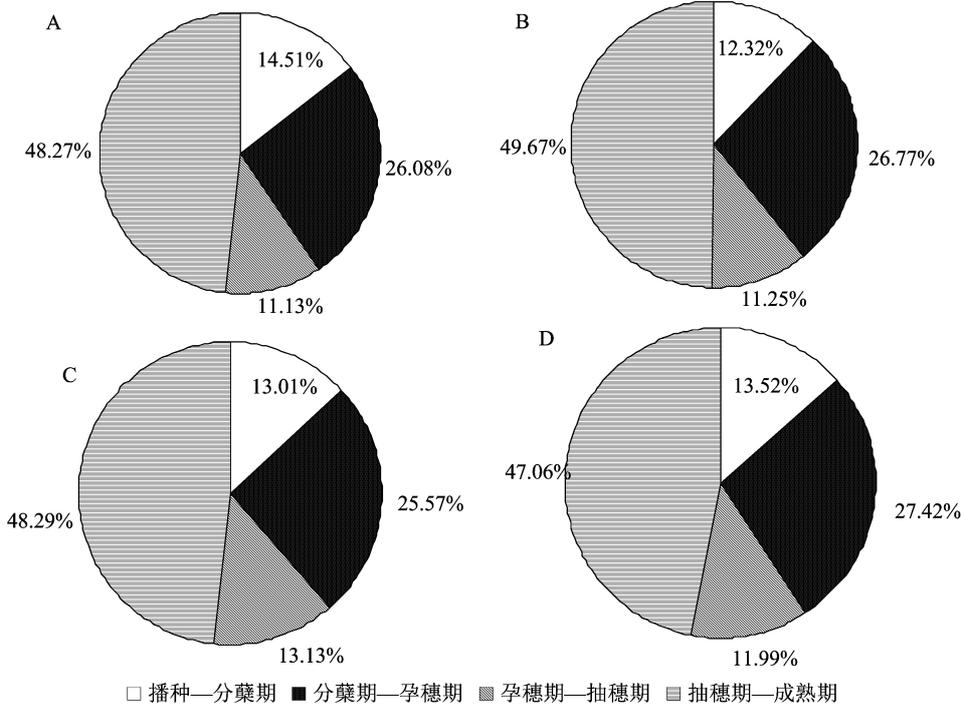


图2 2017 年早稻主要生育阶段干物质积累比例

表 4 2017 年早稻主要生育期各器官含氮量

%

处理	分蘖期		孕穗期		抽穗期			成熟期		
	茎	叶	茎	叶	茎	叶	穗	茎	叶	穗
A	2.30a	4.62a	1.62a	3.72a	1.31b	3.63ab	1.49ab	0.96b	2.46ab	1.31a
B	2.30a	4.66a	1.65a	3.78a	1.29b	3.63ab	1.44ab	0.96ab	2.46ab	1.32a
C	2.40a	4.53a	1.56a	3.74a	1.40ab	3.52b	1.55a	0.97ab	2.36b	1.35a
D	2.37a	4.66a	1.64a	3.72a	1.47a	3.67a	1.30b	0.98a	2.52a	1.33a

2.3.2 早稻主要生育期氮素积累量 从图 3 可以看出,各个时期的氮素积累量在各处理间差异均不显著。在分蘖期,氮素积累量最大的为处理 A,在孕穗期、抽穗期和成熟期,氮素积累最高的为处理 B,且对照处理 A 的氮素积累量持续最低。在成熟期,

积累比例。

2.3 紫云英还田与氮肥配施对早稻氮素吸收利用的影响

2.3.1 早稻主要生育期各器官含氮量 植株含氮量直接反映了水稻吸收氮素的能力。从表 4 可以看出,在分蘖期和孕穗期,各处理茎、叶含氮量之间差异均不显著。到抽穗期,各器官含氮量出现明显差异,处理 D 的茎含氮量显著高于处理 B 和对照处理 A ($P < 0.05$)。在成熟期,茎和叶的含氮量均是处理 D 最大,成熟期处理 C 的穗含氮量最高,但各处理间差异不显著。由此可见,本试验中 3 种配施方式下早稻各器官含氮量与常规施肥方式在同一水平。

处理 B 的氮素积累量比对照处理 A 高出 13.61%,比处理 C 和 D 分别高出 6.69%、9.40%。由此可见,紫云英翻压还田配施减量氮肥对早稻氮素积累的影响主要表现在中后期,且氮素积累总量随着紫云英翻压比例的增加而减少。

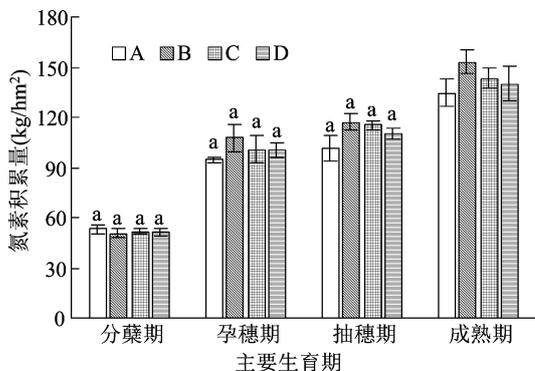


图3 2017年早稻主要生育期氮素积累量

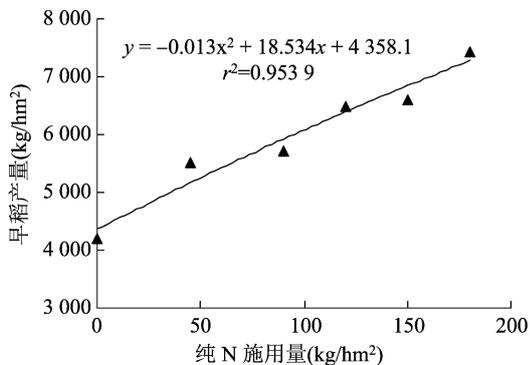


图4 纯氮用量与早稻产量关系模型

2.3.3 早稻氮素利用效率 由表5可知,氮素干物质生产效率、氮素稻谷生产效率和氮素收获指数在各处理之间均无显著差异。处理C的氮素干物质生产效率为74.98 kg/kg,较对照处理A高1.94%,氮素干物质生产效率最低的为处理D。氮素稻谷生产效率最高的为处理A,高出其他处理平均值6.02 kg/kg,最低的为处理B。氮素收获指数最高的为处理C,比对照处理A高3.07%,处理D的氮素收获指数最低。由此可见,本试验中的3种配施方式下早稻氮素吸收利用效率与常规施肥方式在同一水平。

表5 2017年早稻氮素吸收利用效率

处理	氮素干物质生产效率 (kg/kg)	氮素稻谷生产效率 (kg/kg)	氮素收获指数 (%)
A	73.55 ± 1.13a	56.67 ± 8.88a	62.48 ± 2.77a
B	73.10 ± 1.73a	49.58 ± 2.00a	63.38 ± 1.59a
C	74.98 ± 2.34a	51.71 ± 4.40a	64.40 ± 1.50a
D	71.86 ± 1.44a	50.65 ± 7.54a	60.62 ± 0.64a

2.4 纯N-水稻产量关系模型及紫云英替代系数

2.4.1 纯N-水稻产量关系模型 氮肥施用量对水稻生长动态、干物质积累、产量构成、植株含氮量等的影响,最终反映为对产量的影响。众多研究表明,水稻产量随着施氮量的增加呈现先增加后减少的趋势,其过程可用抛物线方程来描述^[26],其表达式为:

$$Y = a_1 + a_2N + a_3N^2 \quad (1)$$

式中:Y代表水稻产量;N代表纯氮施用量; a_1 、 a_2 、 a_3 为方程系数。根据江西农业大学科技园生态学试验基地(115°55'E, 28°46'N)水稻试验田近年试验结果^[27]得出,江西农业大学科技园生态学试验基地水稻试验田的纯N与水稻产量的回归统计方程(图4)为:

$$Y = 4358.1 + 18.534N - 0.013N^2 (r^2 = 0.9539) \quad (2)$$

2.4.2 纯N-紫云英还田量-水稻产量关系模型及紫云英替代系数 在紫云英-双季稻种植模式中,翻压紫云英还田时其植株中的氮素可代替部分氮肥为水稻提供养分,因此在纯N-产量关系中,其纯N部分可增加为:纯N+紫云英提供的氮。根据公式(2)可以得出纯N-紫云英还田量-水稻产量关系模型,其表达式为:

$$Y = 4358.1 + 18.534(N + eM) - 0.013(N + eM)^2 \quad (3)$$

式中:M代表紫云英还田量;e为紫云英替代系数,e的大小反映紫云英还田对氮肥效应替代能力的强弱。

由公式(3)得到2017年紫云英还田量-水稻模式中的紫云英替代系数(表6),从表中数据可以看出,随着紫云英还田量在全部施肥量中的比例增加,紫云英替代系数减小。在紫云英还田量为27000 kg/hm²时,紫云英替代系数最高,为 3.406×10^{-3} ;还田量为45000 kg/hm²时,紫云英替代系数为 2.173×10^{-3} 。表中氮素减投比数据显示,各试验处理的氮素减投比均小于1,说明各处理的紫云英还田氮素总量均大于该处理的氮肥减施量,即该处理在早稻季供氮量充足。

3 讨论

绿肥和化肥配合施用,既可以保证水稻需肥高峰期的营养供应,又能保证肥效平稳,在水稻中后期可以显著提高植株对肥料的吸收利用^[28-30]。钱晨晨等研究表明,紫云英与氮肥配施的氮素积累量均较单施氮肥有显著提高,其增幅在6.95%~18.68%;且氮收获指数以紫云英配施纯N 90 kg/hm²处理最高^[31]。廖育林等研究表明,减少20%施氮量与紫云英配合能够维持水稻生长季的持续供氮,促进植株氮素吸收;而减少40%的施氮量

表 6 早稻纯氮-紫云英还田量-产量关系

处理	氮肥施用量 (kg/hm ²)	紫云英还田量 (kg/hm ²)	稻谷产量 (kg/hm ²)	<i>e</i>	氮素减投比
A	180	0	7 425.94		
B	120	27 000	7 614.30	3.406×10^{-3}	0.83
C	90	36 000	7 373.03	2.842×10^{-3}	0.93
D	60	45 000	6 874.25	2.173×10^{-3}	0.99

与紫云英配合,在早稻中后期供氮充足,有利于氮素向籽粒转运,提高氮素收获指数^[32]。有研究表明,大田冬种紫云英有利于水稻对氮素的吸收利用,可以有效提高稻田氮肥利用率^[28-29,33]。鲁艳红等通过研究紫云英与氮肥配施对氮素利用率的影响,发现混施处理的水稻植株氮素积累量较单施氮肥的有所提高^[34]。本研究中,紫云英 27 000 kg/hm² + 纯 N 180 kg/hm² 和紫云英 45 000 kg/hm² + 纯 N 180 kg/hm² 的成熟期氮素积累量较常规施氮处理有所提高,这与前人的结果一致。但各施肥处理成熟期穗的含氮量低于常规施氮处理,可能是因为紫云英配施氮肥主要是通过提高水稻干物质,从而提高了氮素积累量。水稻氮肥利用率低是目前水稻生产面临的重要问题,而且过量施用氮肥不利于水稻对氮肥的吸收利用^[35-36]。本研究中,紫云英可以代替一部分氮肥,在保证水稻产量的同时提高氮肥利用率,这与前人研究结果^[32,37]类似。另外,紫云英还田的处理氮素稻谷生产效率均较常规施肥处理低,说明紫云英还田后,显著提高了早稻干物质积累量,而多吸收的氮素没有增加早稻产量,这与前人的研究结果^[38-40]相似。董作珍等研究发现,通过施肥水平提高水稻植株氮素积累量,其中更多的氮素是被积累在水稻秸秆中^[41]。而本试验中,紫云英还田的紫云英 27 000 kg/hm² + 纯 N 120 kg/hm² 和紫云英 36 000 kg/hm² + 纯 N 90 kg/hm² 的氮收获指数均较常规施肥的高,说明紫云英还田有利于氮素在籽粒中积累。

刘春增等在河南信阳进行了 3 年的定位试验,通过对翻压紫云英配施减氮处理对土壤养分和产量的比较分析显示,紫云英在还田量为 22 500 kg/hm² 的情况下,化肥使用量可以减少到常规施用量的 40%^[42]。周兴等在湖南省南县的 4 年大田定位试验结果显示,紫云英还田量在 22 500 kg/hm² 的情况下,减少化肥用量 20% 和 40% 对水稻增产的效果分别为 2.37%、3.34%^[43]。本试验中,紫云英 27 000 kg/hm² + 纯 N 120 kg/hm² 对早稻增产

2.54%,而紫云英 36 000 kg/hm² + 纯 N 90 kg/hm² 和紫云英 45 000 kg/hm² + 纯 N 60 kg/hm² 分别造成早稻减产 0.71%、7.43%。各试验处理的土壤有效养分含量均有提高的趋势,其中碱解氮、速效钾和有机质含量及土壤 pH 值较对照处理平均提高 4.39%、4.99%、6.91% 和 1.47%。说明翻压紫云英还田 + ≥50% 氮肥,在氮素供应充足时,可以维持土壤肥力且不减产,甚至有小幅增产^[44],而当紫云英还田 + <50% 氮肥时,即使紫云英还田氮素总量充足,也会造成水稻减产,说明紫云英还田的氮素相对于化肥肥料,其氮素供应能力相对不足^[45],进一步说明紫云英可以作为氮肥补充氮源,但不宜作为水稻氮源供应作物^[46]。

4 结论

紫云英 27 000 kg/hm² + 纯 N 120 kg/hm² 有提高早稻产量的趋势,紫云英 45 000 kg/hm² + 纯 N 60 kg/hm² 处理的晚稻产量最高,从全年产量来看,紫云英 36 000 kg/hm² + 纯 N 90 kg/hm² 处理最佳。与常规施肥相比,翻压紫云英还田可以提高早稻中后期干物质积累比例,提高植株氮素积累量和氮收获指数。紫云英替代系数的变化表明,在早稻供氮量充足的情况下,随着紫云英还田量在全部施肥量中比例的增加,紫云英替代氮肥效应的能力逐渐减弱。各处理的氮素减投比均小于 1,即本试验中翻压紫云英还田配施减量氮肥处理对早稻供氮量充足。

参考文献:

- [1] 翟孟源,徐新良,姜小三. 我国长江中下游农业区冬闲田的遥感监测分析[J]. 地球信息科学学报,2012,14(3):389-397.
- [2] 关世怀,何勤红,杨长青. 当前冬闲田利用状况调查与思考[J]. 农村经济与科技,2016,27(7):37-38.
- [3] 王华,杨知建,李果. 我国南方双季稻区冬闲田种草模式探讨[J]. 作物研究,2014,28(2):201-203.
- [4] 陈中督. 农作措施对双季稻田固碳减排效应与农户低碳技术采纳行为研究[D]. 北京:中国农业大学,2017:1-10.
- [5] 张颖睿,黄国勤. 安福县冬闲田开发利用调研报告[M]. 北京:中国环境出版社,2017:203-212.

- [6]苏启陶,钱晨晨,黄国勤. 金溪县冬闲田开发利用调研报告[M]. 北京:中国环境出版社,2017:222-228.
- [7]金妹兰,侯立春,徐磊. 长江中下游地区耕地复种指数变化与国家粮食安全[J]. 中国农学通报,2011,27(17):208-212.
- [8]Ohba S Y, Matsuo T, Takagi M. Mosquitoes and other aquatic insects in fallow field biotopes and rice paddy fields[J]. Medical and Veterinary Entomology, 2013, 27(1):96-103.
- [9]王志强,王海,黄国勤. 都昌县冬季农业开发利用调研报告[J]. 农学学报,2016,6(8):70-74.
- [10]刘海东,唐湘如,赵烈,等. 不同施肥深度对直播水稻氮素积累与转移的影响[J]. 华北农学报,2016,31(5):216-221.
- [11]赵宏伟,沙汉景. 我国稻田氮肥利用率的研究进展[J]. 东北农业大学学报,2014,45(2):116-122.
- [12]Roelcke M, Han Y, Schleeff K H, et al. Recent trends and recommendations for nitrogen fertilization in intensive agriculture in Eastern China[J]. Pedosphere, 2004, 14(4):449-460.
- [13]艾玉春,董月,汪吉东,等. 水稻产量主要养分限制因子及养分运筹应对技术研究[J]. 江苏农业学报,2015,31(3):558-563.
- [14]曾祥明,韩宝吉,徐芳森,等. 不同基础地力土壤优化施肥对水稻产量和氮肥利用率的影响[J]. 中国农业科学,2012,45(14):2886-2894.
- [15]沈静文. 农业部正式启动2020年化肥、农药用量零增长行动[J]. 农药市场信息,2015(7):11.
- [16]卢松. 到2020年实现化肥零增长[N]. 河南日报,2015-04-04(3).
- [17]袁嫚嫚,刘勤,张少磊. 太湖地区稻田土壤冬绿肥固氮特性研究[J]. 土壤通报,2010,41(5):1115-1119.
- [18]胡安永,刘勤,孙星,等. 太湖地区不同轮作模式下的稻田氮素平衡研究[J]. 中国生态农业学报,2014,22(5):509-515.
- [19]周春火,潘晓华,吴建富,等. 不同复种方式对早稻产量和氮素吸收利用的影响[J]. 江西农业大学学报,2013,35(1):13-17,32.
- [20]Mohanty S, Nayak A K, Kumar A, et al. Carbon and Nitrogen mineralization kinetics in soil of rice-rice system under long term application of chemical fertilizers and farmyard manure[J]. European Journal of Soil Biology, 2013, 58(4):113-121.
- [21]杨滨娟,黄国勤,陈洪俊,等. 利于水稻氮素吸收的绿肥翻压量和施氮水平研究[J]. 植物营养与肥料学报,2016,22(5):1187-1195.
- [22]高菊生,曹卫东,李本荣,等. 充分利用冬闲稻田大力发展绿肥生产[J]. 耕作与栽培,2009(2):1-2,12.
- [23]张颖睿,杨滨娟,黄国勤. 紫云英翻压量与不同施氮量对水稻生长和氮素吸收利用的影响[J]. 生态学杂志,2018,37(2):430-437.
- [24]鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京:中国农业出版社,2000:23.
- [25]钱晨晨. 紫云英翻压还田与氮肥配施对水稻生长、稻田重金属含量及养分平衡的影响[D]. 南昌:江西农业大学,2017.
- [26]薛正平. 精准农业变量施肥技术及其环境经济效益[D]. 南京:南京农业大学,2007.
- [27]杨滨娟. 冬种绿肥与稻草还田对农田生态系统生产力及土壤环境的影响[D]. 南昌:江西农业大学,2014:16-19.
- [28]赵琦. 水稻氮肥利用效率的研究进展[J]. 中国稻米,2016,22(6):15-19.
- [29]张立进,杨滨娟,黄国勤,等. 绿肥轮作对早稻生长动态及氮素吸收利用的影响[J]. 农业科学与技术(英文版),2015,30(5):962-967.
- [30]孙晓,尹皓婵,张占田,等. 海藻提取物对水稻产量及养分利用的影响[J]. 江苏农业科学,2020,48(16):100-103.
- [31]钱晨晨,王淑彬,杨滨娟,等. 紫云英与氮肥配施对早稻干物质生产及氮素吸收利用的影响[J]. 中国生态农业学报,2017,25(4):563-571.
- [32]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):190-195,201.
- [33]王建红,曹凯,张贤. 紫云英还田配施化肥对单季晚稻养分利用和产量的影响[J]. 土壤学报,2014,51(4):888-896.
- [34]鲁艳红,廖育林,聂军,等. 紫云英与尿素或控释尿素配施对双季稻产量及氮钾利用率的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2017,23(2):360-368.
- [35]彭耀林,朱俊英,唐建军,等. 有机无机肥长期配施对水稻产量及干物质生产特性的影响[J]. 江西农业大学学报,2004,26(4):485-490.
- [36]侯云鹏,韩立国,孔丽丽,等. 不同施氮水平下水稻的养分吸收、转运及土壤氮素平衡[J]. 植物营养与肥料学报,2015,21(4):836-845.
- [37]马艳芹,钱晨晨,邓丽萍,等. 紫云英配施氮肥对双季稻产量、干物质质量及氮素吸收利用的影响[J]. 核农学报,2017,31(12):2399-2407.
- [38]刘红江,郭智,郑建初,等. 太湖地区氮肥减量对水稻产量和氮素流失的影响[J]. 生态学杂志,2017,36(3):713-718.
- [39]王伟妮,鲁剑巍,何予卿,等. 氮、磷、钾肥对水稻产量、品质及养分吸收利用的影响[J]. 中国水稻科学,2011,25(6):645-653.
- [40]姚雄,李经勇,文明,等. 川东南冬水田单季籼稻高效施氮技术分析[J]. 云南农业大学学报(自然科学版),2016,31(1):141-147.
- [41]董作珍,吴良欢,柴婕,等. 不同氮磷钾处理对浙优1号水稻产量、品质、养分吸收利用及经济效益的影响[J]. 中国水稻科学,2015(4):399-407.
- [42]刘春增,刘小粉,李本银,等. 紫云英配施不同用量化肥对土壤养分、团聚性及水稻产量的影响[J]. 土壤通报,2013,44(2):409-413.
- [43]周兴,谢坚,廖育林,等. 基于紫云英利用的化肥施用方式对水稻产量和土壤碳氮含量的影响[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版),2013,39(2):188-193.
- [44]Zhao X, Wang S Q, Xing G X. Maintaining rice yield and reducing N pollution by substituting winter legume for wheat in a heavily-fertilized rice-based cropping system of Southeast China[J]. Agriculture Ecosystems & Environment, 2015, 202:79-89.
- [45]Tirol-Padre A, Ladha J K, Regmi A P, et al. Organic amendment affect soil parameters in two long-term rice-wheat experiments[J]. Soil Science Society of America Journal, 2007, 71(2):442-452.
- [46]Dawe D, Dobermann A, Ladha J K, et al. Do organic amendments improve yield trends and profitability in intensive rice systems?[J]. Field Crops Research, 2003, 83(2):191-213.