

紫云英还田对土壤肥力、水稻产量及其经济效益的影响

刘春增¹, 李本银^{1*}, 吕玉虎², 张玉亭¹, 王守刚¹, 曹卫东³

(1. 河南省农业科学院 植物营养与资源环境研究所, 河南 郑州 450002; 2. 信阳市农业科学研究所, 河南 信阳 464000; 3. 中国农业科学院 农业资源与农业区划研究所, 北京 100081)

摘要: 为研究紫云英还田与配施不同量化肥对土壤肥力、水稻产量、产量构成要素以及经济效益的影响, 采用田间小区试验, 设置了不施肥(CK)、仅施当地常规化肥施用量($G_0N_{225}P_{135}K_{135}$)、紫云英还田与当地常规化肥施用量的 100%、80%、60%、40% 配施($GN_{225}P_{135}K_{135}$ 、 $GN_{180}P_{108}K_{108}$ 、 $GN_{135}P_{81}K_{81}$ 、 $G_{90}P_{54}K_{54}$) 6 个处理。结果表明, 紫云英与不同量化肥配施, 均能明显提高耕层土壤有效氮、有效磷、有效钾和有机质的含量。且紫云英与当地常规施肥量 100%、80%、60%、40% 配施, 稻谷产量比仅施化肥处理分别增产 4.5%、5.2%、2.8%、0.5%, 其中, 80% 化肥量与紫云英配施的产量显著高于仅施化肥处理($P < 0.05$)。同时紫云英和 80%、60% 当地常规施肥量配施, 其总净收益均高于仅施化肥的处理。从稻谷产量、净收益和产投比及环境友好性综合来看, 紫云英还田与当地化肥施用量的 80% 和 60% 配施是最优组合。

关键词: 紫云英; 化肥施用量; 水稻; 土壤肥力; 经济效益

中图分类号: S511.01 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-3268(2011)05-0096-04

Effect of Incorporation of *Astragalus sinicus* on Soil Fertility, Rice Yield and Economic Efficiency

LIU Chunzeng¹, LI Benyin^{1*}, LÜ Yuhu², ZHANG Yuting¹,
WANG Shougang¹, CAO Weidong³

(1. Institute of Plant Nutrition, Agricultural Resources and Environmental Science, Henan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450002, China;
2. Xinyang Institute of Agricultural Science, Xinyang 464000, China;
3. Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract: A field experiment was carried out to study the effect of incorporation of *Astragalus sinicus* combined with different amounts of chemical fertilizers on soil fertility, rice yield components and the yield and economic efficiency. The experiment included six treatments: no fertilizer (CK), only application of chemical fertilizers ($G_0N_{225}P_{135}K_{135}$), incorporation of *Astragalus sinicus* (22500 kg/ha) with 100%, 80%, 60%, or 40% of locally traditional amounts of chemical fertilizers applied ($GN_{225}P_{135}K_{135}$, $GN_{180}P_{108}K_{108}$, $GN_{135}P_{81}K_{81}$, $G_{90}P_{54}K_{54}$). The results showed incorporation of *Astragalus sinicus* with different amounts of chemical fertilizers above significantly improved the contents of available N, P, K and organic matter in the topsoil layer, and en-

收稿日期: 2010-10-25

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项经费项目(200803029)

作者简介: 刘春增(1967), 男, 河南平顶山人, 副研究员, 本科, 主要从事绿肥利用评价与循环农业研究工作。

E-mail: Liucz321@yahoo.com.cn

* 通讯作者: 李本银(1972), 男, 河南光山人, 副研究员, 博士, 主要从事土壤环境科学研究。E-mail: benyinli@foxmail.com

hanced the index of rice yield components, which resulted in higher yields. The yield was increased by 4.5%, 5.2%, 2.8% and 0.5% compared with the $G_0N_{225}P_{135}K_{135}$ treatment separately for the treatments of $G_NN_{225}P_{135}K_{135}$, $G_NN_{180}P_{108}K_{108}$, $G_NN_{135}P_{81}K_{81}$ and $G_NN_{90}P_{54}K_{54}$, especially for the treatment of $G_NN_{180}P_{108}K_{108}$, which yield was significantly higher than the $G_0N_{225}P_{135}K_{135}$ treatment ($P < 0.05$). Higher net income and ratio of net income to total outlay were observed under the treatments of $G_NN_{180}P_{108}K_{108}$ and $G_NN_{135}P_{81}K_{81}$ than locally regular fertilization ($G_0N_{225}P_{135}K_{135}$). From the viewpoint of rice yield, net income, ratio of net income to total outlay and the environment, the incorporation of *Astragalus sinicus* at 22 500 kg per hectare with 80% or 60% of locally traditional amount of chemical fertilizers should be popularized in Xingyang, Henan province.

Key words: *Astragalus Sinicus* L.; Amount of chemical fertilizers applied; *Oryza sativa* L.; Soil fertility; Economic efficiency

紫云英(*Astragalus sinicus* L.), 是豆科黄芪属越年生草本植物, 秋季套播于稻田中, 是我国南方稻区主要的冬季绿肥作物。紫云英还田可增加土壤矿质养分、提高耕层土壤有机质含量、降低土壤容重、改善土壤物理性状、活化和富集土壤养分、增加土壤微生物活性, 对保持水稻可持续生产具有重要意义^[1-3]。

在我国农业生产中, 农家肥和绿肥在相当长的时间内占绝对主导地位, 直到 20 世纪 80 年代, 我国化肥工业快速发展, 我国化肥施用量超过有机肥, 此后有机肥施用量快速萎缩而化肥施用迅猛增加^[4], 到 2009 年, 我国有机肥施用量占总施肥量不足 25%, 施用化肥能迅速增加土壤的速效养分, 提高农产品的产量^[5], 对保障国家粮食生产安全起了至关重要的作用。但近 30 a 来, 农业生产中过度依赖化肥, 忽视有机肥或绿肥投入的现象十分严重。化肥的过量施用造成了土壤酸化板结、土壤微生物多样性减少、地下水硝酸盐污染、湖泊和近海水体富营养化^[6-10], 对农业生产和生态环境均产生了负面的影响, 同时大量施用化肥也降低了农产品的品质。

长期施用有机肥, 或有机肥与化肥配合施用, 可以改善土壤结构、培肥地力, 减少化肥的施用量, 提升肥料的利用率, 提高农产品的品质与产量^[11-14]。鉴此, 针对淮河流域水稻产区, 研究紫云英还田与不同量化肥配施对土壤肥力、水稻产量构成要素、水稻产量及经济效益的影响, 旨在为大规模推广绿肥种植, 保障耕地质量、保护生态环境以及发展可持续的农业提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 试验材料

供试作物为水稻, 品种为信阳市农业科学院选育的珍辐糯。绿肥紫云英为信阳当地品种。供试土壤为水稻土, pH 6.4、有效氮 53.3 mg/kg、有效磷 10.5 mg/kg、速效钾为 74.9 mg/kg、有机质 21.4

g/kg。盛花期紫云英地上部氮、磷、钾含量分别为 3.36%、0.36%、3.18%, 干物质占鲜质量的 8.9%。

1.2 试验设计

试验于 2009 年在河南省信阳市农业科学研究所试验园区进行。共设置 6 个处理, 即不施肥处理(CK)、仅施化肥处理($G_0N_{225}P_{135}K_{135}$)、紫云英还田与当地常规化肥施用量的 100% ($G_NN_{225}P_{135}K_{135}$)、80% ($G_NN_{180}P_{108}K_{108}$)、60% ($G_NN_{135}P_{81}K_{81}$) 和 40% ($G_NN_{90}P_{54}K_{54}$) 配施。其中当地常规化肥施用量, 氮(N)、磷(P_2O_5)、钾(K_2O) 分别为 225、135、135 kg/hm²。除不施肥处理外, 磷、钾肥全部基施, 氮肥按基肥: 分蘖肥: 孕穗肥 = 3: 2: 1 的比例施用。紫云英异地翻压, 施用量为 22 500 kg/hm² (鲜质量)。氮、磷、钾肥源分别为碳酸氢铵、普通过磷酸钙和氯化钾。每处理设置 4 个重复, 小区面积均为 6.67 m² (长 3.33 m, 宽 2.0 m)。小区采用随机区组设计。小区间做埂, 上覆塑料薄膜防止串水串肥, 且区组间留 0.3 m 宽的沟, 便于排灌水。

1.3 田间管理

除不翻压紫云英的 2 个处理外, 其余每小区于 4 月 14 日异地翻压紫云英作底肥; 5 月 21 日基施氮、磷、钾肥。

水稻于 5 月 27 日移栽, 小区栽插密度 17 cm × 20 cm, 即每公顷插秧 30 万穴, 每穴 2~3 棵苗。按照水稻栽培技术措施进行田间管理。根据水稻生长的需要, 按需灌溉和施用农药。

1.4 样品采集及测定

于成熟期调查水稻主要产量构成要素、采集耕层土壤(0~20 cm)样品。水稻产量实打实收。土壤 pH 按水: 土 = 2.5: 1 的比例用复合电极测定, 有机质用油浴外加热法、有效磷用 0.5 mol/L 碳酸氢钠浸提、速效钾用 1.0 mol/L 乙酸铵浸提, 有效氮用 2.0 mol/L 氯化钾浸提, 用连续流动分析仪测定, 具体方法按文献[15]进行。

1.5 数据处理

数据用 SPSS11.5 软件, 在 $P < 0.05$ 或 $P < 0.01$ 水平下进行统计分析, 结果采用 Duncan's 新复极差测验进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 不同施肥处理对土壤养分含量的影响

由表 1 可知, 不施肥(CK) 处理耕层土壤有效氮含量显著低于仅施用化肥或化肥与紫云英配施的处理。紫云英与不同化肥量配施(化肥量由高至低, 下同)的 4 个处理的耕层土壤有效氮含量分别比仅施化肥处理高 23.2%、15.3%、12.2% 和 7.6%, 差异均达到显著水平($P < 0.05$)。其原因可能是, 紫云英分解能及时补充增加耕层土壤有效氮含量。

不施肥处理的耕层土壤有效磷含量比施用化肥或紫云英与不同量化肥配施的 5 个处理低 6.9% ~ 24.5%, 且差异达到显著水平($P < 0.05$)。其原因可能是, 作物大量吸收了耕层土壤的有效磷, 而没有得到及时补充。施用化肥(磷肥) 或紫云英与不同量化肥配施, 均能显著提高耕层土壤有效磷含量, 尤其是紫云英与不同量化肥配施分别比仅施化肥处理有效磷含量高 23.2%、12.3%、10.0% 和 3.5%。这是由于本试验所施用 22500kg/hm² 紫云英可补充磷(P₂O₅) 17.8kg/hm²。

同样, 不施肥处理耕层土壤有效钾含量, 比仅施化肥或紫云英与不同量化肥配施低 7.5% ~ 34.6%, 其差异达到显著水平($P < 0.05$)。另外, 紫云英与 100%、80%、60% 的化肥量配施处理, 耕层土壤有效钾含量也分别比仅施化肥处理分别高 19.7%、10.5% 和 1.8%, 其中前二者耕层土壤有效钾含量显著高于仅施化肥处理($P < 0.05$)。

表 1 不同施肥处理对耕层土壤有效氮、磷、钾和有机质的影响

处理	有效氮/ (mg/kg)	有效磷/ (mg/kg)	有效钾/ (mg/kg)	有机质 (g/kg)
CK	47.85e	8.78e	58.68e	21.60b
G ₀ N ₂₂₅ P ₁₃₅ K ₁₃₅	53.04d	9.44d	75.00c	24.17a
GN ₂₂₅ P ₁₃₅ K ₁₃₅	65.32a	11.63a	89.78a	24.72a
GN ₁₈₀ P ₁₀₈ K ₁₀₈	61.18b	10.60b	82.84b	24.95a
GN ₁₃₅ P ₈₁ K ₈₁	59.49bc	10.38bc	76.36c	24.69a
GN ₉₀ P ₅₄ K ₅₄	57.05c	9.77cd	63.41f	24.86a

注: 各列不同小写字母表示达 0.05 显著水平($P < 0.05$)

有机质含量是衡量土壤肥力的重要指标之一。不施肥处理, 其耕层土壤有机质显著低于施化肥和紫云英与不同量化肥配施的处理($P < 0.05$)。但仅施化肥或紫云英与不同量化肥配施, 其处理间有机

质含量无显著差异, 这说明施用化肥或紫云英与化肥配施, 均能保持或增加耕层土壤有机质的含量。

2.2 不同施肥处理对水稻产量构成要素及产量的影响

不同施肥处理对水稻的株高和穗长有明显的影响(表 2)。由表 2 可知, 所有施肥处理水稻株高和穗长均比对照高(长), 说明增施化肥或者化肥配施紫云英均能明显促进水稻的营养生长和生殖生长, 促使水稻植株生长高大健壮, 为水稻高产打下良好的营养基础。其中, 翻压紫云英的 4 个处理略高于不翻压紫云英仅施化肥的处理, 表明翻压紫云英后, 水稻在整个生育期能得到持续的养分供应, 比单施化肥更有利于水稻的生长发育, 水稻最高分蘖亦表现出相同趋势。

水稻产量高低是产量三要素综合作用的结果, 其中一个要素偏低就会导致产量下降。从表 2 可见, 各施肥处理的有效穗数、穗粒数、千粒重均高于对照。除 GN₁₃₅P₈₁K₈₁、GN₁₈₀P₁₀₈K₁₀₈ 2 个处理千粒重较仅施化肥处理略有减少外, 化肥配施紫云英还田的 4 个处理水稻产量三要素好于仅施化肥(G₀N₂₂₅P₁₃₅K₁₃₅) 的处理。

水稻产量受不同施肥处理影响较大。由表 2 亦可看出, 各施肥处理的水稻产量均高于不施肥处理, 差异均达到显著水平。与仅施化肥处理相比较, 紫云英与不同量化肥配施的 4 个处理, 产量均有提高, 其中 GN₁₈₀P₁₀₈K₁₀₈ 比仅施化肥处理增产了 5.2%, 差异达到显著水平($P < 0.05$)。

2.3 不同施肥处理对经济效益的影响

若不考虑劳动力、灌溉等成本, 仅从投入种子、化肥、农药支出费用和稻谷收入来分析紫云英还田和不同用量化肥配施的经济效益(表 3) 可知, 不施肥处理稻谷净收入最低, 而稻谷收入 GN₁₈₀P₁₀₈K₁₀₈ 处理最高, GN₂₂₅P₁₃₅K₁₃₅ 处理次之。

从净收益来分析, 紫云英翻压与当地化肥施用量的 80%、60%、40% 的 3 个处理, 其每公顷净收益均在 15400 元左右, 比仅施化肥和紫云英还田与 100% 化肥配施净收益分别增加约为 4.5% 和 3.5%。这说明, 紫云英还田与化肥减量, 能提高水稻生产净收益。

从产投比分析可以看出, 不施肥处理产投比最高, 但这个结果是由于连续几十年培肥的结果, 初次不施肥对产量影响不太显著之缘故。从仅施化肥或紫云英与不同量化肥配施的 5 个处理来看, 紫云英翻压与当地常规施肥量 40% 的处理产投比最高, 紫云英翻压与当地常规施肥量 60% 的处理次之, 紫云英翻压与当地常规施肥量配施产投比最低, 而仅施

化肥或紫云英翻压与当地常规施肥量 80% 的处理，其产投比相差不大。

表 2 不同施肥处理对水稻产量及产量构成要素的影响

处理	株高/ cm	穗长/ cm	最高分蘖/ (× 10 ⁴ / hm ²)	有效穗/ (× 10 ⁴ / hm ²)	穗粒数/ 个	实粒数/ 个	千粒重/ g	产量/ (kg/ hm ²)
CK	103. 8	25. 9	246. 0	165. 0	156	138	27. 9	6 751. 9c
G ₀ N ₂₂₅ P ₁₃₅ K ₁₃₅	113. 5	26. 0	310. 5	222. 0	160	136	28. 1	8 958. 8b
G _N 225P ₁₃₅ K ₁₃₅	116. 0	26. 6	339. 0	235. 5	170	151	28. 5	9 361. 9ab
G _N 180P ₁₀₈ K ₁₀₈	113. 9	26. 5	370. 5	247. 5	161	140	28. 0	9 423. 8a
G _N 135P ₈₁ K ₈₁	116. 2	26. 9	355. 5	232. 5	192	166	28. 0	9 213. 8ab
G _N 90P ₅₄ K ₅₄	113. 9	26. 2	319. 5	295. 0	171	154	28. 6	9 007. 5b

表 3 不同施肥处理的经济效益分析

处理	稻谷收入/ (元/ hm ²)	稻种支出/ (元/ hm ²)	紫云英种子费/ (元/ hm ²)	紫云英肥料费/ (元/ hm ²)	水稻肥料费用/ (元/ hm ²)	总投入/ (元/ hm ²)	净收入/ (元/ hm ²)	产投比
CK	12 964	405	0	0	0	405	12 559	31. 0
G ₀ N ₂₂₅ P ₁₃₅ K ₁₃₅	17 201	405	0	0	2 070	2 475	14 726	5. 9
G _N 225P ₁₃₅ K ₁₃₅	17 975	405	270	350	2 070	3 095	14 880	4. 8
G _N 180P ₁₀₈ K ₁₀₈	18 094	405	270	350	1 656	2 681	15 413	5. 7
G _N 135P ₈₁ K ₈₁	17 690	405	270	350	1 242	2 267	15 423	6. 8
G _N 90P ₅₄ K ₅₄	17 294	405	270	350	828	1 853	15 441	8. 3

注: 稻谷按 1. 92 元/ kg, 水稻种 36 元/ kg, 每公顷需水稻种 22. 5 kg, 紫云英种子 9 元/ kg, 每公顷需紫云英种子 30 kg, 种植水稻和紫云英投入 N、P₂O₅、K₂O 价格分别是 1. 6 元/ kg, 6. 4 元/ kg, 6. 1 元/ kg, 每公顷紫云英施肥量 N 为 34. 5 kg (即尿素 75 kg/ hm²), P₂O₅ 36 kg/ hm² (即过磷酸钙 300 kg/ hm²), 农药支出每公顷约为 70 元

3 结论

紫云英还田 (22 500 kg/ hm²) 与当地常规化肥施用量的 100%、80%、60%、40% 配施, 能明显提高耕层土壤有效氮、有效磷含量; 紫云英与不同量的化肥配施, 其稻谷产量均高于仅施用常规化肥的处理; 从培肥土壤地力、净收益、产投比以及可持续生产等方面综合考虑, 紫云英还田与当地常规化肥施用量的 80% 和 60% 配合施用, 是值得推荐的配施方案。

参考文献:

[1] 焦彬, 顾荣申, 张学上. 中国绿肥[M]. 北京: 农业出版社, 1986.

[2] 李庆逵, 朱兆良, 于天仁. 中国农业持续发展中的肥料问题[M]. 南昌: 江西科学技术出版社, 1998.

[3] 陈安磊, 王凯荣, 谢小立, 等. 不同施肥模式下稻田土壤微生物生物量磷对土壤有机碳和磷素变化的响应[J]. 应用生态学报, 2007, 18(12): 2733- 2738.

[4] 农业部农业技术推广中心. 中国有机肥料资源[M]. 北京: 中国农业出版社, 1999.

[5] 崔玉亭. 化肥与农业生态环境保护[M]. 北京: 化学工业出版社, 2001.

[6] Doran J W, Parkin T B. Defining and assessing soil quality[M] // Soil Society of America Spatial Publication (SSSA Spec. Publ). 35. SSSA and ASA, Madison,

Wisconsin, 1994: 3- 211.

[7] 曹志洪. 施肥与水体环境质量——论施肥对环境的影响(2) [J]. 土壤, 2003, 35(5): 353- 363.

[8] 黄国勤, 王兴祥, 钱海燕, 等. 施用化肥对农业生态环境的负面影响及对策[J]. 生态环境 2004, 13(4): 656- 660.

[9] 侯迷红, 王春枝, 王婵, 等. 不同氮素水平下生菜累积硝酸盐能力的品种差异分析[J]. 中国农学通报, 2005, 21(5): 396- 399.

[10] 刘宏斌, 李志宏, 张维理, 等. 露地栽培条件下大白菜氮肥利用率与硝态氮淋溶损失研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2004, 10(3): 286- 291.

[11] 林多胡, 顾荣申. 中国紫云英[M]. 福州: 福建科学技术出版社, 2000.

[12] 唐政, 李虎, 邱建军, 等. 有机种植条件下水肥管理对番茄品质和土壤硝态氮累积的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2010, 16(2): 413- 418.

[13] 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.

[14] 汪涛, 朱波, 况福虹, 等. 有机—无机肥配施对紫色土坡耕地氮素淋失的影响[J]. 环境科学学报, 2010, 30(4): 781- 788.

[15] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 2 版. 北京: 中国农业科技出版社, 2000.