

控释肥对稻草覆盖红壤花生产量及土壤有效氮平衡的影响*

成艳红 武琳 钟义军 黄欠如[†] 章新亮 孙永明 叶川

(江西省红壤研究所/国家红壤改良工程技术研究中心, 南昌 331717)

摘要 采用田间试验研究了稻草覆盖等量施肥条件下, 配施控释肥(controlled release fertilizer, CRF) 20% (MF20)、40% (MF40)、60% (MF60)、传统一次施肥(MF0)、不施肥(CK1)以及无覆盖分次施肥(CK2)对花生产量、氮素吸收利用及土壤有效氮平衡的影响。结果表明: 在一次性施肥条件下, 配施 20% 控释肥(MF20)处理, 花生产量最佳, 达到分次施肥产量水平, 过多配施控释肥将影响产量; 氮素表观利用率随控释肥配施比例的增大先增加后降低, MF20 处理氮肥表观利用率最高(57.39%), 分别较 MF0 和 CK2 处理增加 20.94% 和 3.84%。MF20 处理氮肥农学利用率、偏生产力、氮素吸收效率以及花生吸氮量均最高, 但随着控释肥配施比例的增加均呈降低趋势, 而氮素表观损失率的变化趋势相反。土壤氮盈余则随着控释肥比例增大而明显增加。综合有效氮平衡, 本试验的土壤条件下, 减氮施肥技术对挖掘花生自身固氮潜力、提高肥料利用率、保证红壤区花生高产稳产等具有重要的意义。

关键词 花生; 控释肥; 稻草覆盖; 有效氮平衡; 产量

中图分类号 S158.3 **文献标识码** A

江西是稻草秸秆资源丰富的省份之一^[1], 众多研究表明: 稻草覆盖还地对于提高土壤肥力、改善土壤物理性状、有效减少春季的水土侵蚀和秋季的水分蒸发损失等方面都具有重要意义^[2-3]。然而, 稻草覆盖严重影响了红壤旱地作物生长中期的肥料管理。花生(*Arachis hypogaea*) 一年生作物, 是红壤旱地上最主要经济作物之一, 花生高产喜肥, 尤其是一种需氮较多的作物^[4-6]。花生在不同的生育时期, 需肥规律存在明显差异。花生苗期需肥较少, 而花生结荚期是营养生长和生殖生长最旺盛的时期, 对养分的需求量最大。普通氮肥的养分释放快, 导致花生生长前期氮肥过量后期氮肥供应不足并存, 不仅导致氮肥利用率低下, 花生的单产水平和肥料增产效益下降, 同时造成了水体污染, 对生态环境构成潜在威胁, 直接影响到农田的可持续利用^[7]。

缓/控释肥是根据作物对养分的需要控制其养分释放模式, 使养分释放与作物养分吸收相同步, 从而提高肥料利用率和降低肥料对环境的污染的

一种新型肥料^[8-10]。目前, 已有研究多集中在控释肥施用的农学效应方面。已有的结果表明, 控释肥对改善作物生长发育, 提高水稻、小麦、玉米和花生等作物产量有显著效果^[11-16]。同时, 有关控释肥种类、配施方式、管理措施等对作物产量, 氮素吸收、利用和损失等方面的效应研究也有报道^[17-18]。但针对控释肥不同配施比例在稻草覆盖条件下红壤旱地上的作用效果以及氮素吸收利用和有效氮平衡的研究却鲜见报道。

本文拟通过田间试验研究不同控释肥配施比例对花生产量、氮素吸收利用以及有效氮平衡的影响, 为探索稻草覆盖红壤旱地作物产量提升, 提高氮素利用率和保护环境目标下的合理氮肥简化施用模式提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地位于江西省红壤研究所旱作物良种引

* 江西省科技支撑项目(20111BBF60057, 20121BBF60051)、“十二五”国家科技支撑计划重点项目(2011BAD41B01, 2011BAD31B04)资助

[†] 通讯作者, 黄欠如(1966—), 男, 博士, 副研究员, 主要研究方向: 红壤生态及水土保持科研工作

作者简介: 成艳红(1981—), 女, 博士, 助理研究员, 主要研究方向: 土壤生物与生态修复。E-mail: yanhongch007@163.com

收稿日期: 2013-09-02; 收到修改稿日期: 2013-11-19

育中心基地内(116°20'24"N,28°15'30"E)。该区气候温和、雨量丰富、日照充足、无霜期长,属中亚热带季风气候。土壤为第四纪黏土母质发育的红壤旱地,试验地耕层土壤的基本性质为:有机质 16.2 g kg⁻¹,全氮 0.84 g kg⁻¹,全磷 0.71 g kg⁻¹,全钾 12.96 g kg⁻¹,碱解氮 87.5 mg kg⁻¹,速效磷 6.8 mg kg⁻¹,速效钾 185 mg kg⁻¹,pH(H₂O)5.0。

1.2 试验设计

试验共设 6 个处理,即:CK1(覆盖 + 不施肥)、CK2(无覆盖 + 传统二次施肥,氮肥基肥 60% + 花针期 40%)、MF0(覆盖 + 传统一次施肥)、MF20(覆盖 + 配施 20% 控释肥)、MF40(覆盖 + 配施 40% 控释肥)、MF60(覆盖 + 配施 60% 控释肥)。各施肥处理的总施肥量均为纯 N:117.3 kg hm⁻²,P₂O₅:41.25 kg hm⁻²,K₂O:180 kg hm⁻²,所用单质化肥品种分别为尿素(含 N 46%)、钙镁磷肥(含 P₂O₅ 11%)和氯化钾(含 K₂O 60%);控释复合肥(N-P-K 22-8-15,45%,控释养分的控释期为 100 d,包膜尿素氮素累计释放量达到 80% 的时间为 80 d,所有肥料为树脂包膜尿素,P₂O₅ 和 K₂O)。控释肥的用量以施入氮的总量换算,控释肥处理中的磷、钾养分不足部分以钙镁磷肥和氯化钾补齐。

除无覆盖分次施肥,即氮肥基肥 60% + 花针期 40% 外,其他处理肥料均作为基肥一次施入。将肥料均匀撒施于土壤表面,耕翻均匀后,播种花生,待花生出苗后用风干水稻秸秆覆盖,覆盖量为 4 500 kg hm⁻²。

稻草秸秆腐解采用尼龙袋法^[19]。将供试秸秆剪成长 5~10 cm,置于孔径为 100 目的纯尼龙网袋中,每袋(20 cm × 15 cm)22.5 g。于 2012 年 4 月与稻草覆盖同步,将稻草袋放于 CK1 处理所覆盖稻草之间。

供试花生品种选用进贤多粒土花生,种植密度为 33 cm × 20 cm。试验小区面积为 25 m²,重复 3 次,随机区组排列。2012 年 4 月 16 日播种,8 月 25 日收获。

1.3 样品采集与测定

在花生主要生育期,即苗期、花针期、结荚期、成熟期分别采取 0~20 cm 土层土壤,每小区随机采取 5 点混合土样。将新鲜土壤混匀过 2 mm 筛,风干备用。土壤基本理化性状采用常规分析方法^[20]。

稻草秸秆腐解:分别测定稻草原始样的全氮、全磷、全钾含量;在花生主要生育期分别取样袋测定秸秆失重率;并于花生收获时取样测定秸秆的全氮、全磷、全钾含量,测定方法参照文献^[20]。

在花生主要生育期分别采集植株样品记录花生农艺性状,并将叶、茎秆、根、籽粒分开,分别在 105℃ 下杀青 30 min,60~70℃ 下烘干,计算干物质产量。同时样品烘干粉碎后,用 H₂SO₄-H₂O₂ 消解,采用半微量凯氏法测定植株全氮含量^[21]。花生收获时随机取 6 株进行考种。每小区实收荚果晒干计算实际产量。各产量构成因子的测定采用计数与称重法。

1.4 数据处理

本试验没有考虑降水输入的氮素,作物生长期土壤矿化氮根据不施氮处理作物吸氮量与试验前后土壤有效氮(available nitrogen,AN)累积量的净变化估计^[22-23],不考虑氮肥稻草覆盖的激发效应,假定施氮处理土壤氮矿化量与不施氮处理相同,即:

$$\text{土壤氮素净矿化量(kg hm}^{-2}\text{)} = \text{不施氮处理作物吸氮量} + \text{不施氮处理土壤残留 AN} - \text{不施氮处理土壤起始 AN} \quad (1)$$

根据氮素输入输出平衡的原理,有关氮肥利用率和氮平衡参数的计算方法^[24-25]如下:

$$\text{土壤氮素表观损失量(kg hm}^{-2}\text{)} = \text{施氮量} + \text{土壤起始 AN} + \text{土壤氮素净矿化量} - \text{作物携出量} - \text{收获后土壤残留 AN} \quad (2)$$

$$\text{氮肥表观利用率(RE}_N\text{, \%)} = (\text{施氮区作物氮累积量} - \text{无氮区作物氮累积量}) / \text{施氮量} \times 100 \quad (3)$$

$$\text{氮肥表观残留率(NARR, \%)} = (\text{施氮区土壤残留 AN} - \text{无氮区土壤残留 AN}) / \text{施氮量} \times 100 \quad (4)$$

$$\text{氮肥表观损失率(NALR, \%)} = 100 - \text{氮肥表观利用率} - \text{氮肥表观残留率} \quad (5)$$

$$\text{氮肥农学利用率(NAE, kg kg}^{-1}\text{)} = (\text{施氮处理产量} - \text{不施氮处理产量}) / \text{施氮量} \quad (6)$$

$$\text{氮素偏生产力(NPP, kg kg}^{-1}\text{)} = \text{施氮处理籽粒产量} / \text{施氮量} \quad (7)$$

$$\text{氮素吸收效率(NUG, kg kg}^{-1}\text{)} = \text{植株吸氮量} / \text{施氮量} \quad (8)$$

$$\text{稻草秸秆腐解释放氮量(kg hm}^{-2}\text{)} = (\text{还田前秸秆风干重量(kg hm}^{-2}\text{)} \times \text{初始全氮含量(g kg}^{-1}\text{)} - \text{还田后秸秆风干重量(kg hm}^{-2}\text{)} \times \text{取样时秸秆全氮含量(g kg}^{-1}\text{)}) / 1000 \quad (9)$$

试验数据均采用 Excel 和 SPSS16.0 软件进行统计分析。

2 结果与讨论

2.1 控释肥配施比例对花生产量及产量构成因子的影响

施用控释肥料可以改善花生籽粒的主要经济性状,提高花生单株产量。虽然控释肥处理对花生株高和百仁重没有明显影响(数据未列出),但对花

生的单株结果数、单株果重和出仁率有不同程度的影响(表1)。与 MF0 相比, MF20、MF40 和 MF60 处理的花生单株结果数分别增加了 7.8、3.8 和 2.0 个,出仁率分别提高 8.1%、5.8% 和 3.7%;与 MF0 相比, MF20 单株果重增加 16.0 g,其他配施控释肥处理略有降低,但差异不显著。与 CK2 相比, MF20 处理的花生单株结果数、单株果重以及出仁率有一定程度的增加,其中出仁率提高显著。

表 1 不同控释肥配施比例对花生产量及产量构成因子的影响

Table 1 Effect of proportion of CRF on pod yield and their components of peanut

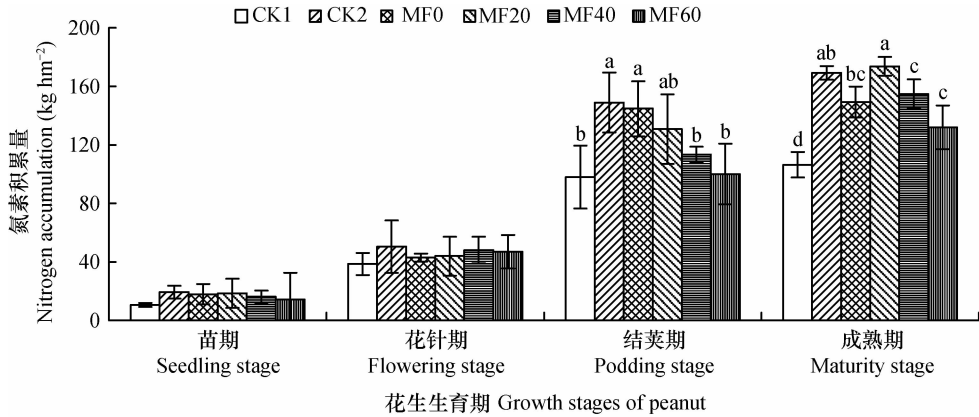
处理 Treatment	产量构成因子 ¹⁾ Yield components			产量 Yield (kg hm ⁻²)	较 CK1 增产 Yield increase than CK1 (%)
	单株结果数 Pods per plant (ind plant ⁻¹)	单株果重 Pod weight (g plant ⁻¹)	出仁率 Shelling (%)		
CK1	35.2 ± 1.8c	55.4 ± 5.2c	78.6 ± 4.1ab	2 485d	—
CK2	47.2 ± 3.7ab	72.6 ± 6.5b	73.1 ± 1.8bcd	3 285ab	32.2
MF0	44.6 ± 3.9abc	70.4 ± 4.0b	74.2 ± 1.0bcd	3 235b	30.2
MF20	52.4 ± 4.4a	86.4 ± 2.8a	82.3 ± 0.6a	3 419a	37.6
MF40	48.4 ± 2.2bc	69.4 ± 1.6b	80.0 ± 1.4ab	3 378ab	36.0
MF60	46.6 ± 2.0ab	63.6 ± 5.0bc	77.9 ± 2.0abc	3 268b	31.5

注:1)平均值 ± 标准差。同列不同字母表示处理间差异达 5% 显著水平,下同 Note:1) Mean ± SD. Different letters in the same column mean significant difference between treatments at $p < 0.05$ using Duncan's test. The same below

与覆盖条件下普通肥料一次施用(MF0)处理相比,配施控释肥可以增加花生产量,其增产幅度随着控释肥配施比例的增大表现出先增后降的趋势。其中,配施 20% 控释肥(MF20)处理产量最高,显著高于 MF0 和 MF60 处理,与 MF40 处理相比无显著差异。配施 20% 和 40% 控释肥处理的花生产量较无覆盖普通肥料二次施用(CK2)处理分别增加 133.6、93.4 kg hm⁻²,差异不显著;配施 60% 控释肥处理的产量与 CK2 处理相比降低 0.5% (表 1)。进一步分析表明,花生产量(Y , kg hm⁻²)与控释肥配施比例(X , %)呈二次曲线关系,回归方程为: $Y = -0.183 4X^2 + 11.299X + 3 242.8 (R^2 = 0.948 3^*)$,当控释肥配施比例为 30.8% 时花生获得最高产量 3 069 kg hm⁻²,与实际最高产量差异不大。由此说明,红壤旱地在覆盖条件下,配施一定比例(20.0% ~ 30.8%)控释肥,可较好地协调花生生长前期与后期对氮素养分的需求,为保证花生高产创造了良好的氮素营养条件。本研究结果中 MF20 处理花生产量最高,而随着控释肥配施比例的增加,花生产量反而降低,是因为控释肥配施比例过大容易导致作物生长前期养分供应不足,因而增施控释肥没有增产作用,有时甚至还会降低产量^[26]。

2.2 控释肥配施比例对花生氮素积累及利用效率的影响

花生生长前期,各处理间花生氮素积累量无明显差异;从花针期到结荚期,CK2、MF0 和 MF20 处理增加幅度较大,分别较花针期增加 98.58、101.8、86.92 kg hm⁻²;而从结荚期到成熟期, MF20、MF40 和 MF60 处理的花生养分积累量分别为 42.92、41.39 和 31.75 kg hm⁻²,配施控释肥处理花生养分积累量的增加幅度明显高于 CK2 (20.30 kg hm⁻²) 和 MF0 (4.47 kg hm⁻²) 两个普通肥料处理的花生养分积累量(图 1),这说明控释肥处理到了花生生长的后期还有充足的氮素养分供花生吸收利用。特别注意的是普通肥料处理一次施用(MF0)在结荚期到成熟期花生氮素吸收量占全生育期氮素吸收量不足 3.0%,从一个侧面反映了本试验条件下采用普通肥料一次施用可能会导致花生生长后期脱肥。至成熟期,配施控释肥处理中 MF20 处理花生氮素积累量最高,分别较 MF40 和 MF60 处理高 19.0 和 41.9 kg hm⁻²,且差异达到显著水平,但与 CK2 处理花生氮素积累量相比无显著差异,说明合理的氮素供应有助于花生氮素积累。



注: 图中不同字母表示处理间差异达5%显著水平 Note: Different letters in the figure mean significant difference between treatments at $p < 0.05$ using Duncan's test

图1 不同生育期花生氮素积累量

Fig. 1 Nitrogen accumulation in peanut relative to growth stage

本试验中氮肥表观利用率在 21.69% ~ 57.39% (表 2), 与朱兆良等^[27]报道的全国平均氮利用率(30% ~ 51%)相近。在稻草覆盖条件下, 配施 20% 控释肥料 (MF20) 处理的氮肥表观利用率达到最大(57.39%), 显著高于其他配施控释肥处理, 但与普通肥料二次施用 (CK2) 无显著差异。与普通肥料一次施用 (MF0) 相比, 配施 20% 控释肥料 (MF20) 处理的氮肥表观利用率提高了 20.94%, 这一结果与此前报道的缓/控释氮肥与等量养分的常规化肥相比提高氮肥表观利用率 3.5% ~ 21.95%^[28-29] 基本吻合。这是因为相比于常规化肥, 控释肥缓慢释放养分的特性使供应养分后移, 能够较好地满足花生生长后期对氮素的需求, 促进了花生对氮素的吸收利用, 进而提高产量。然而, 配施 40% 以上控释肥并不能增加花生对氮素的吸收利用, 因而氮素的表观利用率随着控释肥配施比例的增加先增加后降低。

从表 2 中还可以看出, 氮肥农学利用率随控释肥配施比例增加先增加后减小, 即氮肥增产效益随控释肥配施比例 (> 20%) 增加而降低, 这一结果与隗英华等^[30] 研究结果一致; 而表观损失率表现出相反的趋势, 氮肥表观损失率变幅在 37.41% ~ 72.66%, 配施 20% 控释肥最小, 其次是 CK2 处理, 分别为 37.41% 和 42.25%, 二者无显著差异; 同时, 氮肥表观残留率变幅较小, 在 4.20% ~ 8.03% 之间且处理间差异不明显, 这与以往研究结论不一致^[31]。原因可能是因为以 0 ~ 20 cm 土层作为计算对象, 低估了氮肥的残留而高估了表观损失。但花生根重的 80% 分布在 0 ~ 20 cm, 花生根区以下的土

壤氮素很难被吸收利用, 其最终无疑是离开土壤-作物系统进入环境或水体或大气。

各处理相比, MF0 处理氮肥表观残留率显著高于控释肥处理, 而控释肥处理间无显著差异, 且随着控释肥配施比例的增大有增加的趋势; 随着控释肥配施比例的增加表观损失率增大, 配施 40% 和 60% 控释肥氮肥表观损失率远远大于氮肥表观利用率, 说明配施过多控释肥时, 大部分肥料态氮在花生生长后期释放, 而此时花生进入生长衰弱期, 根系吸收能力降低, 从而导致大部分肥料态氮残留于土壤或损失。此外, 花生自身的固氮作用也是影响土壤氮素残留效应的又一原因。研究表明, 土壤在氮素缺乏时豆科植物固氮效率较高^[32], 花生自身固氮量可达其最适需氮量的 60% ~ 65%, 但是作物固氮量和氮素转移量呈反比例^[33], 这可能是导致本研究中不施肥处理与施肥处理间土壤有效氮残留量无明显差异的原因。氮素偏生产力和氮素吸收效率均在 MF20 处理为最大, 但与其他处理无明显差异。其原因有待进一步研究。

2.3 土壤氮素平衡

表 3 结果表明, 生育期有效氮项中, 播前土壤碱解氮是有效氮的主要输入部分, 占有有效氮输入总量的 45.7% ~ 64.4%。除 CK1 和 CK2 处理外, 其他施肥处理有效氮总量相同。而在收获后有效氮支出项中, 施肥处理的作物氮素积累量均显著高于不施肥处理, 随控释肥配施比例增加作物氮素积累量先增加后降低, 在配施控释肥 20% 处理时作物氮素积累量最大 (173.7 kg hm^{-2}), 当控释肥配施比例继续增加, 作物氮素积累量明显降低。土壤残留有效

表 2 不同控释肥配比比例对花生氮肥利用率的影响

Table 2 Effect of proportion of CRF on nitrogen utilization efficiency of peanut

处理 Treatment	氮肥表观利用率 Apparent N utilization efficiency (%)	氮肥农学利用率 N agronomic efficiency (kg kg ⁻¹)	氮肥表观残留率 Apparent N residual rate (%)	氮肥表观损失率 Apparent N loss rate (%)	偏生产力 Partial productivity	氮素吸收效率 N uptake efficiency (kg kg ⁻¹)
CK1	—	—	—	—	—	—
CK2	53.55a	6.82ab	4.20bc	42.25d	28.00a	1.44a
MF0	36.45b	6.40b	8.03a	55.53c	27.58a	1.27ab
MF20	57.39a	7.96a	5.20b	37.41d	29.14a	1.48a
MF40	32.65b	7.19a	5.28b	62.07b	28.80a	1.32a
MF60	21.69c	6.68b	5.65b	72.66a	27.86a	1.12ab

氮以配施 60% 控释肥处理最高,与 CK2 处理无明显差异,分别为 202.9 kg hm⁻²和 199.4 kg hm⁻²,只有在不施肥(CK1)和覆盖普通肥料一次施用(MF0)条件下土壤有效氮残留量低于播种之前的 185.5 kg hm⁻²。氮素表观损失量随控释肥配比比例增加先降低后增加,在配施 20% (MF20) 处理最小,为 41.78 kg hm⁻²,与传统施肥(CK2)处理(37.36 kg hm⁻²)相比无显著性差异。结果表明,在控释肥配比比例较小时,有效降低了氮素的表观损失量,而土壤残留量的增加量很低,但当控释肥配比比例增加至 60% 时,表观损失量的增加量较土壤残留量的增加量更加迅速。

从整个肥料水平的有效氮平衡来看,花生整个生育期氮素平衡的盈余量相当于肥料氮的 40% ~ 75% (表 3),且土壤残留氮是氮盈余的主要部分。

此外,从表中可以看出播前土壤碱解氮残留量与花生整个生育期氮矿化量之和已经远远超过作物携出量。这表明,土壤本身的供氮量很高。以往有研究表明,在半干旱农田生态系统连续多年施用氮肥,土壤剖面中残留矿质氮的累积量逐年增加^[32],同时,南方红壤旱地春花生长季高温多雨,为土壤有机氮的矿化提供了条件^[29]。在本研究中,花生生育期土壤氮素矿化量加上播前碱解氮量,土壤自身供氮量为 288.3 kg hm⁻²,远高于当季花生的吸氮量,这可能是随着控释肥配比比例增加,土壤耕层中有效氮残留与氮素表观损失量增加的主要原因,而传统二次施肥(总氮:117.3 kg hm⁻²)主要引起土壤中有效氮残留的增加。为了做好氮肥的优化管理,进一步研究这些残留有效氮对后季作物的贡献及其运移情况显得尤为重要^[22]。

表 3 花生整个生育期有效氮平衡

Table 3 Budgeting of soil available N balance during the entire growth period of peanut (kg hm⁻²)

处理 Treatment	生育期有效氮收入 Input of available N at the growing stage				有效氮总量 Total available N (I + II + III + IV)
	施氮量 N application rate (I)	播前碱解氮 N _{min} before sowing (II)	净矿化氮 Net N mineralization (III)	稻草腐解释放氮量 N released from straw decomposition (IV)	
CK1	0	185.5	102.8	5.57	293.9
CK2	117.3	185.5	102.8	0	405.6
MF0	117.3	185.5	102.8	5.57	411.2
MF20	117.3	185.5	102.8	5.57	411.2
MF40	117.3	185.5	102.8	5.57	411.2
MF60	117.3	185.5	102.8	5.57	411.2

处理 Treatment	收获后有效氮支出 Balance of available N after harvesting			
	作物吸收积累量 Accumulative N uptake by crop (V)	残留有效氮 Residual N _{AN} (VI)	氮素表观损失 Apparent N loss (VII)	有效氮平衡 N _{min} balance (VI - 播前 AN + VII)
CK1	106.4d	181.9b	0d	-3.6
CK2	169.2ab	199.4a	37.36c	51.26
MF0	149.2b	184.9ab	71.93b	71.33
MF20	173.7a	190.5a	41.78c	46.78
MF40	144.7c	185.0ab	76.29ab	75.79
MF60	131.9c	202.9a	71.25a	88.65

3 结 论

稻草覆盖条件下, 配施适宜比例控释肥可以提高红壤旱地花生的产量。在一次性配施 20% 控释肥 (MF20) 时, 花生产量最高, 但随着控释肥配施比例的增加, 肥料的增产效应下降。MF20 处理花生产量与传统二次施肥 (CK2) 处理相比无显著差异。花生产量 ($Y, \text{kg hm}^{-2}$) 与控释肥配施比例 ($X, \%$) 呈二次曲线关系, 本实验条件下, 配施 20.0% ~ 30.8% 控释肥, 可以保证花生产量。氮肥表观利用率随控释肥配施比例的增大先增加后降低, MF20 处理氮肥表观利用率最高 (57.39%), 分别较 MF0 和 CK2 处理高 20.94% 和 3.84%。MF20 处理氮肥农学利用率、偏生产力、氮素吸收效率以及花生吸氮量均最高, 但随着控释肥配施比例的增加均呈降低趋势, 而氮素表观损失率的变化趋势相反。花生整个生育期氮素平衡的盈余量相当于肥料氮的 40% ~ 75%, 且主要以土壤残留为主。配施过量控释肥引起氮素表观损失量的增加, 而传统二次施肥主要引起土壤中有效氮残留的增加。基于本研究, 稻草覆盖红壤旱地花生生产中氮量减半施肥技术对挖掘花生自身固氮潜力、提高肥料利用率、保证红壤区花生高产稳产等具有重要的意义。

参 考 文 献

[1] 黄伟生, 黄道友, 汪立刚, 等. 稻草覆盖对坡地红壤培肥及作物增产的效果. 农业工程学报, 2006, 22 (10): 102—104. Huang W S, Huang D Y, Wang L G, et al. Effects of straw mulching to slope red soil on fertility maintaining and crop yield (In Chinese). Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2006, 22 (10): 102—104

[2] 吴婕, 朱钟麟, 郑家国, 等. 秸秆覆盖还田对土壤理化性质及作物产量的影响. 西南农业学报, 2006, 19 (2): 291—295. Wu J, Zhu Z L, Zheng J G, et al. Influences of straw mulching treatment on soil physical and chemical properties and crop yields (In Chinese). Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2006, 19 (2): 291—295

[3] 王淑彬, 杜传莉, 黄国勤, 等. 稻草覆盖对红壤旱地棉田土壤肥力和生物学性状的影响. 生态环境学报, 2011, 20 (11): 1687—1692. Wang S B, Du C L, Huang G Q, et al. Effects of rice straw mulching on soil fertility and biological characteristics of cotton field on upland red soil (In Chinese). Ecology and Environmental Sciences, 2011, 20 (11): 1687—1692

[4] 陶其骧, 刘光荣, 李祖章, 等. 红壤旱地的钾、铜营养对花生产量与品质影响的探讨. 江西农业大学学报, 1995, 17 (2): 149—154. Tao Q X, Liu G R, Li Z Z, et al. A study on the effects

of K and Mo nutrients on yield and quality of peanut in red upland (In Chinese). Acta Agriculture Universitatis Jiangxiensis, 1995, 17 (2): 149—154

[5] Zhang H J, Gan Y T, Huang G B, et al. Postharvest residual soil nutrients and yield of spring wheat under water deficit in arid northwest China. Agriculture and Water Management, 2009, 96 (6): 1045—1051

[6] 董亮, 张玉凤, 刘兆辉, 等. 不同包膜控释肥对花生生物性状及养分含量的影响. 现代农业科技, 2009 (23): 23—26. Dong L, Zhang Y F, Liu Z H, et al. Effects of different coated controlled-release fertilizers on peanut's biological traits and nutrient content (In Chinese). Modern Agricultural Sciences and Technology, 2009 (23): 23—26

[7] Liu J G, Diamond J. Revolutionizing China's environmental protection. Science, 2008, 319: 37—38

[8] 邵国庆, 李增嘉, 宁堂原, 等. 灌溉和尿素类型对玉米氮素利用及产量和品质的影响. 中国农业科学, 2008, 41 (11): 3672—3678. Shao G Q, Li Z J, Ning T Y, et al. Effects of irrigation and urea types on N utilization, yield and quality of maize (In Chinese). Scientia Agricultura Sinica, 2008, 41 (11): 3672—3678

[9] 谷佳林, 曹兵, 李亚星, 等. 缓控释氮素肥料的研究现状与展望. 土壤通报, 2008, 39 (2): 431—434. Gu J L, Cao B, Li Y X, et al. Research status and expectation of slow/controlled release nitrogen fertilizers (In Chinese). Chinese Journal of Soil Science, 2008, 39 (2): 431—434

[10] 刘仁君, 曹彦圣, 田玉华, 等. 不同施肥措施对稻田土壤氮矿化的影响. 土壤, 2012, 44 (3): 389—394. Liu R J, Cao Y S, Tian Y H, et al. Effects of different fertilization practices on nitrogen mineralization of paddy soils (In Chinese). Soils, 2012, 44 (3): 389—394

[11] Acquaye S, Inubushi K. Comparative effects of application of coated and noncoated urea in clayey and sandy paddy soil microcosms examined by the ^{15}N tracer technique. Soil Science and Plant Nutrition, 2004, 50 (2): 205—213

[12] 李方敏, 樊小林, 陈文东. 控释肥对水稻产量和氮肥利用效率的影响. 植物营养与肥料学报, 2005, 11 (4): 494—500. Li F M, Fan X L, Chen W D. Effects of controlled release fertilizer on rice yield and nitrogen use efficiency (In Chinese). Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2005, 11 (4): 494—500

[13] 杨春蕾, 袁玲, 李英才, 等. 南太湖流域控释包膜尿素对水稻产量及稻田氮素流失的影响. 土壤通报, 2013, 44 (1): 184—190. Yang C L, Yuan L, Li Y C, et al. Effects of controlled-release coated urea on nitrogen loss of rice fields and rice grain yield in the southern region of Taihu Lake (In Chinese). Chinese Journal of Soil Science, 2013, 44 (1): 184—190

[14] 杨雯玉, 贺明荣, 王远军, 等. 控释尿素与普通尿素配施对冬小麦氮肥利用率的影响. 植物营养与肥料学报, 2005, 11 (2): 627—633. Yang W Y, He M R, Wang Y J, et al. Effect of controlled-release urea combined application with urea on nitrogen utilization efficiency of winter wheat (In Chinese). Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2005, 11 (2): 627—633

[15] 王宜伦, 韩燕来, 苗玉红, 等. 砂薄地夏玉米施用包膜氮肥效

- 果研究. 河南农业大学学报, 2005, 39(3): 349—351. Wang Y L, Han Y L, Miao Y H, et al. Effect of controlled release N fertilizers application on summer maize in sandy soil (In Chinese). Journal of Henan Agricultural University, 2005, 39(3): 349—351
- [16] 邱现奎, 董元杰, 史衍玺, 等. 控释肥对花生生理特性及产量、品质的影响. 水土保持学报, 2010, 24(2): 223—227. Qiu X K, Dong Y J, Shi Y X, et al. Effect of controlled release N fertilizers on physiological characteristics, yield and quality (In Chinese). Journal of Soil and Water Conservation, 2010, 24(2): 223—227
- [17] 谷佳林, 边秀举, 徐凯, 等. 不同缓控释氮肥对高羊茅草坪生长及氮素挥发的影响. 草业学报, 2013, 22(2): 235—242. Gu J L, Bian X J, Xu K, et al. Effects of different slow/controlled release nitrogen fertilizer on tall fescue turf growth and nitrogen volatilization (In Chinese). Acta Prataculturae Sinica, 2013, 22(2): 235—242
- [18] 司贤宗, 韩燕来, 王宜伦, 等. 缓释氮肥与普通尿素配施提高冬小麦-夏玉米施肥效果的研究. 中国农业科学, 2013, 46(7): 1390—1398. Si X Z, Han Y L, Wang Y L, et al. Improving nitrogen use efficiency by combined of slow release nitrogen fertilizer with urea for high yielding winter wheat-summer maize rotation system (In Chinese). Scientia Agricultura Sinica, 2013, 46(7): 1390—1398
- [19] 陈尚洪, 朱钟麟, 吴婕, 等. 紫色土丘陵区秸秆还田的腐解特征及对土壤肥力的影响. 水土保持学报, 2006, 20(6): 141—144. Chen S H, Zhu Z L, Wu J, et al. Decomposition characteristics of straw return to soil and its effect on soil fertility in purple hilly region (In Chinese). Journal of Soil and Water Conservation, 2006, 20(6): 141—144
- [20] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法. 北京: 中国农业科技出版社, 2000. Lu R K. Analytical methods for soil and agro-chemistry (In Chinese). Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2000
- [21] 严小龙, 张福锁. 植物营养遗传学. 北京: 中国农业出版社, 1997. Yan X L, Zhang F S. Genetics of plant nutrition (In Chinese). Beijing: China Agriculture Press, 1997
- [22] 武俊喜, 陈新平, 贾良良, 等. 冬小麦/夏玉米轮作中高肥力土壤的持续供氮能力. 植物营养与肥料学报, 2004, 10(1): 1—5. Wu J X, Chen X P, Jiang L L, et al. Continuous nitrogen supplying capacity of the fertile soil in the winter (In Chinese). Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2004, 10(1): 1—5
- [23] 叶东靖, 高强, 何文天, 等. 施氮对春玉米氮素利用及农田氮素平衡的影响. 植物营养与肥料学报, 2010, 16(3): 552—558. Ye D J, Gao Q, He W T, et al. Effect of N application on N utilization and N balance in spring maize (In Chinese). Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2010, 16(3): 552—558
- [24] 刘学军, 赵紫娟, 巨晓棠, 等. 基施氮肥对冬小麦产量、氮肥利用率及氮平衡的影响. 生态学报, 2002, 33(7): 1122—1128. Liu X J, Zhao Z J, Ju X T, et al. Effect of N application as basal fertilizer on grain yield of winter wheat, fertilizer N recovery and N balance (In Chinese). Acta Ecologica Sinica, 2002, 33(7): 1122—1128
- [25] 张树兰, 同延安, 梁东丽, 等. 氮肥用量及施用时间对土体中硝态氮移动的影响. 土壤学报, 2004, 41(2): 270—276. Zhang S L, Tong Y A, Liang D L, et al. Nitrate-N movement in the soil profile as influenced by rate and timing of nitrogen application (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2004, 41(2): 270—276
- [26] 赵士诚, 裴雪霞, 何萍, 等. 氮肥减量后移对土壤氮素供应和夏玉米氮素吸收利用的影响. 植物营养与肥料学报, 2010, 16(2): 492—497. Zhao S C, Pei X X, He P, et al. Effects of reducing and postponing nitrogen application on soil N supply, plant N uptake and utilization of summer maize (In Chinese). Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2010, 16(2): 492—497
- [27] 朱兆良, 文启孝. 中国土壤氮素. 南京: 江苏科学技术出版社, 1992. Zhu Z L, Wen Q X. Nitrogen in soil of China (In Chinese). Nanjing: Jiangsu Science and Technology Press, 1992
- [28] 王宜伦, 李渤海, 王瑾, 等. 缓/控释肥在玉米生产中的应用与展望. 中国农学通报, 2009, 25(24): 254—257. Wang Y L, Li C H, Wang J, et al. Application and prospect of slow/controlled release fertilizers in maize production (In Chinese). Chinese Agricultural Science Bulletin, 2009, 25(24): 254—257
- [29] 邵蕾, 张民, 王丽霞. 不同控释肥类型及施肥方式对肥料利用率和氮素平衡的影响. 水土保持学报, 2006, 20(6): 115—119. Shao L, Zhang M, Wang L X. Effects of different controlled-release fertilizers and different applying methods on fertilizer use efficiency and nitrogen balance (In Chinese). Journal of Soil and Water Conservation, 2006, 20(6): 115—119
- [30] 隽英华, 汪仁, 孙文涛, 等. 春玉米产量、氮素利用及矿质氮平衡对施氮的响应. 土壤学报, 2012, 49(3): 543—551. Juan Y H, Wang R, Sun W T, et al. Response of spring maize to nitrogen application in grain yield, nitrogen utilization and mineral nitrogen balance (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2012, 49(3): 543—551
- [31] 褚贵新, 沈其荣, 曹金留, 等. 旱作水稻与花生间作系统中的氮素固定与转移及其对土壤肥力的影响. 土壤学报, 2003, 40(5): 717—723. Chu G X, Shen Q R, Cao J L, et al. Biological nitrogen fixation and nitrogen export of groundnut intercropped with rice cultivated in aerobic soil and its effect on soil nitrogen fertility (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2003, 40(5): 717—723
- [32] Kounosuke F T, Ogata S, Matsumoto K, et al. Nitrogen transfer and dry matter production in soybean and sorghum mixed cropping system at different population densities. Soil Science and Plant Nutrition, 1990, 36: 233—241
- [33] 高亚军, 李生秀, 李世清, 等. 施肥与灌水对硝态氮在土壤中残留的影响. 水土保持学报, 2005, 19(6): 61—64. Gao Y J, Li S X, Li S Q, et al. Effect of fertilization and irrigation on residual nitrate N in soil (In Chinese). Journal of Soil and Water Conservation, 2005, 19(6): 61—64

EFFECT OF CONTROLLED RELEASE FERTILIZER ON YIELD OF PEANUT AND BALANCE OF AVAILABLE NITROGEN IN UPLAND RED SOIL MULCHED WITH RICE STRAW

Cheng Yanhong Wu Lin Zhong Yijun Huang Qianru[†] Zhang Xinliang Sun Yongming Ye Chuan

(*Jiangxi Institute of Red Soil/ National Engineering and Technology Research Center for Red Soil Improvement, Nanchang 331717, China*)

Abstract To explore effect of controlled release fertilizer (CRF) on yield of peanut and balance of available N in red soil mulched with rice straw, a field experiment designed to have six treatments, i. e. Treatment MF20 (M stands for mulching, F for fertilizer and the number for the proportion CRF accounted for of the total fertilizer applied, here 20%), Treatment MF40, Treatment MF60, Treatment MF0, Treatment CK1 (mulching only) and CK2 (no mulching in addition to split application of fertilizer), was conducted. Results show that Treatment MF20 was the highest, and similar to Treatment CK2, in peanut yield, show a declining trend with increasing proportion of CRF. Treatment MF20 was also the highest in apparent N utilization efficiency, reaching up to 57.39% and being 20.94% and 3.84% higher than Treatment MF0 and Treatment CK2, respectively, and in N agronomic use efficiency, partial productivity, N uptake efficiency and total nitrogen uptake, as well. All the proceeding indices declined with rising proportion of CRF, once beyond 20%, but the index of apparent N loss rate displayed a reverse trend. (ANLR) and the index of soil N surplus did, too. Based on the balance of soil available nitrogen in the test soil, the technique of halving the nitrogen application rate is an effective measure to tap the N fixing potential of the crop per se, to improve nitrogen fertilizer utilization efficiency while ensuring a stable high yield of peanut in the upland red soil mulched with rice straw.

Key words Peanut; Controlled release fertilizer; Rice straw mulching; Available nitrogen balance; Yield

(责任编辑:陈德明)