

doi: 10.11838/sfsc.1673-6257.18445

连续秸秆还田替代钾肥对作物产量及土壤钾素平衡的影响

程文龙¹, 韩 上¹, 武 际^{1*}, 李 敏¹, 石祖梁², 王 慧¹, 唐 杉¹, 胡 鹏³, 黄 惠⁴

(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. 农业农村部农业生态与资源保护总站, 北京 100125; 3. 安徽省巢湖市农业技术推广中心,
安徽 巢湖 238000; 4. 安徽省黄山市农业技术推广中心, 安徽 黄山 245600)

摘 要: 为了探索油菜-水稻轮作体系中连续秸秆还田替代钾肥效果, 试验研究了连续秸秆还田配施钾肥对油菜-水稻轮作体系中油菜和水稻产量、地上部钾素累积量、钾肥利用率、土壤钾素含量的影响, 探讨了秸秆还田可替代化学钾肥的用量。结果表明: 1) 油菜季秸秆还田可以替代 1/3 ~ 2/3 的化学钾肥而油菜不减产, 水稻季随着试验年限的增加, 秸秆还田能够替代化学钾肥的量呈减少趋势。轮作周期上, 秸秆还田可以替代 1/3 的化学钾肥而油菜和水稻的总产量不减少。2) 与单施钾肥 (NPK) 处理相比, 油菜季, 秸秆替代钾肥 (NP+1/3K+S、NP+2/3K+S) 处理均显著提高了钾肥吸收利用率和偏生产力; 水稻季, NP+2/3K+S 处理显著提高了钾肥吸收利用率和偏生产力, 同时 NP+1/3K+S 处理也显著提高了钾肥偏生产力。3) 在 3 个轮作周期中, 不施钾肥 (NP)、单施钾肥 (NPK) 始终处于亏缺状态, 而秸秆替代钾肥处理 (NP+S、NP+1/3K+S、NP+2/3K+S) 的土壤钾素虽然在第 1 个轮作周期时均处于亏缺状态, 但随着秸秆还田年限增加, 亏缺量逐渐减少, 至第 3 个轮作周期时, 土壤钾素均处于盈余状态。4) 秸秆还田配施钾肥均不同程度增加了耕层土壤速效钾含量, 减缓了耕层土壤缓效钾含量的下降。上述结果表明: 油菜-水稻轮作区秸秆还田减施钾肥有利于弥补土壤钾素亏缺, 对维持土壤钾素平衡有重要意义。

关键词: 秸秆还田; 钾肥; 替代; 油菜-水稻轮作

秸秆含有丰富的氮、磷、钾和中微量元素等养分^[1]。尤其秸秆中钾素含量丰富, 约占秸秆干物质质量的 1.5%。而秸秆还田是利用秸秆资源的有效方式。秸秆还田可促进作物增产^[2], 增加土壤速效养分含量^[3], 提高土壤肥力^[4], 改善土壤结构^[5], 减少秸秆资源的浪费和焚烧带来的空气污染, 同时秸秆还田配施化肥能减少 10% ~ 20% 的化肥用量^[6]。尤其禾本科作物吸收的钾素 80% 以上存在于秸秆中, 主要以离子形式存在, 这部分钾素可以快速释放到土壤中^[7], 短期秸秆还田可以提高当季土壤速效钾含量^[8], 长期秸秆还田

能改善土壤钾素亏缺, 提高作物钾素积累量和产量^[9]。我国作为世界上主要的钾肥消费国, 钾肥却多依赖于进口, 长期受到国际上钾肥价格持续走高的影响^[10]。此外, 近年来我国粮食持续增产的同时也不断带走了土壤中大量的钾素, 钾肥的投入已无法维持土壤钾素的平衡, 农田钾素的逐渐亏缺已成为了当前农业发展面临的问题^[11]。因此, 为缓解钾肥资源短缺及维持土壤钾素平衡, 研究主要粮油作物替代钾肥的效应显得尤为重要。本研究在安徽省稻油轮作区进行了油菜-水稻轮作试验, 研究秸秆全量还田能够替代钾肥的用量, 以及连续秸秆还田对油菜和水稻地上部钾素积累、土壤速效钾和缓效钾含量的影响, 以期对秸秆还田条件下, 钾肥的合理利用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验地点概况

试验地点位于安徽省稻油轮作区。0 ~ 20 cm 土壤基本理化性质为: 有机质 26.24 g/kg、全氮 1.68 g/kg、碱解氮 112.12 mg/kg、有效磷 15.21 mg/kg、速效

收稿日期: 2018-11-09; 录用日期: 2019-03-02

基金项目: 安徽省科技重大专项 (17030701055); 国家重点研发计划 (2018YFD0200900); 公益性行业科研专项 (201503122); 安徽省农业科学院团队项目 (2019YL044); 安徽省重点研究与开发计划项目 (1704e1002237)。

作者简介: 程文龙 (1991-), 男, 安徽黄山人, 研究实习员, 硕士, 主要从事植物营养与作物施肥技术研究。E-mail: wlchengche@163.com。

通讯作者: 武际, E-mail: wuji338@163.com。

钾 121.10 mg/kg、缓效钾 521.59 mg/kg, pH 值为 8.05。

1.2 试验材料

供试油菜、水稻品种均为当地主栽品种。试验中氮肥用尿素 (N 46%), 磷肥用过磷酸钙 (P_2O_5 12%), 钾肥用氯化钾 (K_2O 60%), 硼肥用硼砂 (B 12%)。

1.3 试验设计

试验于 2012 年 9 月油菜季开始实施, 至 2015 年 10 月水稻收获后结束, 采用一年两熟的油菜-水稻轮作模式。试验共设 6 个处理, 分别为: (1) NP; (2) NPK; (3) NP+S; (4) NP+1/3K+S; (5) NP+2/3K+S; (6) NPK+S。其中 K 表示钾肥, S 表示还田秸秆。小区面积 20 m², 4 次重复, 随机区组

排列。

油菜季施肥量: N 180 kg/hm², P_2O_5 60 kg/hm², K_2O 75 kg/hm², 硼砂 15 kg/hm²。氮肥分 3 次施用, 60% 基肥, 20% 越冬肥, 20% 蕾薹肥。磷、钾、硼肥一次性基肥施用。水稻季施肥量: N 180 kg/hm², P_2O_5 60 kg/hm², K_2O 90 kg/hm²。氮肥分 3 次施用, 40% 基肥, 30% 分蘖肥, 30% 穗肥。全部磷、钾肥作基肥施用。为保证试验的一致性, 2012 年第一季作物 (油菜) 还田秸秆为水稻秸秆 9 583 kg/hm², 秸秆的钾素 (K) 含量为 1.44%。之后上一季作物收获后, 施用秸秆的各相应处理秸秆全部还田给下一季, 不施用秸秆的各相应处理 (1) 和 (2) 的秸秆全部清除, 2012 ~ 2015 年每季各处理投入秸秆钾和化学钾肥量见表 1。

表 1 2012 ~ 2015 年各处理秸秆钾和化学钾投入量 (秸秆钾 / 化学钾肥, K_2O kg/hm²)

处理	油菜季			水稻季		
	2012 ~ 2013 年	2013 ~ 2014 年	2014 ~ 2015 年	2013 年	2014 年	2015 年
NP	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0
NPK	0/75	0/75	0/75	0/90	0/90	0/90
NP+S	166/0	225/0	239/0	145/0	130/0	109/0
NP+1/3K+S	166/25	215/25	231/25	141/30	121/30	109/30
NP+2/3K+S	166/50	227/50	245/50	158/60	138/60	128/60
NPK+S	166/75	261/75	257/75	176/90	157/90	129/90

1.4 样品采集与测定

每季作物收获后, 采集各小区耕层 (0 ~ 20 cm) 土壤样品, 风干过筛后备用。土壤的基本理化性质采用常规方法测定。油菜收获时每小区随机选取 10 株有代表性植株。水稻收获时每小区随机选取 10 穴地上部分植株。油菜分为茎秆和籽粒并分别称重, 水稻分稻谷和稻草并分别称重, 以此测定各部分养分含量。油菜、水稻产量以各小区实际收获产量计产。植株样品烘干后磨碎过筛, 用浓 H_2SO_4 - H_2O_2 联合消煮, 火焰光度法测定钾含量。

1.5 数据处理

主要计算公式:

钾肥吸收利用率 (%) = 施钾肥地上部吸钾

增量 / 钾肥用量 × 100

钾肥农学利用率 (kg/kg) = 施钾肥增产量 / 钾肥用量

钾肥偏生产力 (kg/kg) = 施钾肥产量 / 钾肥用量

钾素平衡系数 = 投入土壤中的钾 / 带出土壤中的钾

钾素实际平衡率 (%) = (输入钾 - 支出钾) /

支出钾 × 100

试验数据利用 Excel 2010 进行处理, 用 SPSS 18.0 对数据进行统计分析, 用 OriginPro 8 对数据进行作图。

2 结果与分析

2.1 不同处理对油菜-水稻产量的影响

3 季油菜的产量结果显示 (表 2), 秸秆还田替代化学钾肥的 3 个处理与 NPK 处理相比较, NP+1/3K+S、NP+2/3K+S 处理油菜产量差异均不显著, 而 NP+S 处理的产量则显著低于 NPK 处理, 说明本试验条件下, 秸秆还田可以替代 1/3 ~ 2/3 的化学钾肥而油菜不减产。3 季水稻的产量结果 (表 3)

表 2 2013 ~ 2015 年施钾肥和秸秆还田
对油菜产量的影响 (kg/hm²)

处理	2012 ~ 2013 年	2013 ~ 2014 年	2014 ~ 2015 年
NP	2 890 ± 44ab	2 216 ± 45b	2 244 ± 60bc
NPK	2 920 ± 119a	2 424 ± 135a	2 389 ± 148a
NP+S	2 775 ± 87b	2 199 ± 190b	2 185 ± 70c
NP+1/3K+S	2 936 ± 46a	2 285 ± 112ab	2 277 ± 29abc
NP+2/3K+S	3 018 ± 42a	2 397 ± 157a	2 378 ± 52ab
NPK+S	3 008 ± 111a	2 433 ± 26a	2 412 ± 32a

注：同列数据后不同字母表示处理间差异达 5% 显著水平。下同。

表 3 2013 ~ 2015 年施钾肥和秸秆还田
对水稻产量的影响 (kg/hm²)

处理	2013 年	2014 年	2015 年
NP	6 318 ± 376b	9 060 ± 362a	9 400 ± 164d
NPK	6 420 ± 346ab	9 321 ± 68a	10 681 ± 138ab
NP+S	6 645 ± 315ab	9 141 ± 302a	9 981 ± 270c
NP+1/3K+S	6 330 ± 309b	9 126 ± 281a	9 988 ± 205c
NP+2/3K+S	6 435 ± 352ab	9 378 ± 205a	10 488 ± 337b
NPK+S	6 828 ± 393a	9 420 ± 46a	10 956 ± 197a

显示，秸秆还田处理 NPK+S 与 NPK 相比较，产量略有提高，但差异不显著。秸秆还田替代化学钾肥的 3 个处理与 NPK 处理相比较，前 2 季水稻产量无显著的负效应。第 3 季 NP+S、NP+1/3K+S 处理产量显著低于 NPK 处理，NP+2/3K+S 处理与 NPK 处理相比产量差异不显著，表明随着试验年限的增加，秸秆还田能够替代化学钾肥的量呈减少趋势。从 3 个轮作周期秸秆还田替代化学钾肥效应上看（表 4），秸秆还田替代化学钾肥的 3 个处理与 NPK

处理相比较，第 1 个轮作周期秸秆还田替代化学钾肥对作物产量无显著负效应，第 2 个轮作周期和第 3 个轮作周期 NP+S、NP+1/3K+S 处理产量均显著低于 NPK 处理，NP+2/3K+S 处理与 NPK 处理相比对作物产量无显著负效应。综合来看，秸秆还田可以替代 1/3 的化学钾肥而不减少水稻和油菜的总产量。

表 4 施钾肥和秸秆还田对轮作周期内
作物产量的影响 (kg/hm²)

处理	2012 ~ 2013 年	2013 ~ 2014 年	2014 ~ 2015 年
NP	9 208 ± 339b	11 276 ± 328c	11 644 ± 109d
NPK	9 340 ± 381b	11 745 ± 183ab	13 070 ± 217ab
NP+S	9 420 ± 194ab	11 340 ± 284c	12 166 ± 291c
NP+1/3K+S	9 106 ± 294b	11 411 ± 233c	12 265 ± 167c
NP+2/3K+S	9 212 ± 287ab	11 775 ± 287ab	12 866 ± 234b
NPK+S	9 606 ± 194a	11 853 ± 45a	13 368 ± 171a

2.2 不同处理对油菜—水稻地上部养分积累量的影响

本试验结果（表 5）显示，不施钾肥（NP）处理 3 季油菜地上部钾素积累量为最低。施钾肥和秸秆还田各处理均不同程度提高了油菜籽粒和秸秆的钾素积累量。秸秆还田处理 NPK+S 与 NPK 相比，显著增加了油菜地上部钾素年均积累量，增幅为 8.6%。秸秆还田替代化学钾肥的 3 个处理与 NPK 处理相比较，其中，NP+2/3K+S 处理与 NPK 处理相比地上部钾素年均积累量差异不显著，而 NP+S、NP+1/3K+S 处理的地上部钾素年均积累量则显著低于 NPK 处理，表明在氮磷配合施用下，秸秆还田能替代 1/3 化学钾肥而不减少油菜地上部钾素累积量。

表 5 施钾肥和秸秆还田对作物地上部 3 年平均钾素吸收量的影响 (kg/hm²)

处理	油菜			水稻		
	籽粒	秸秆	总量	籽粒	秸秆	总量
NP	21.8 ± 0.4bc	108.8 ± 1.8d	130.6 ± 1.9d	30.9 ± 0.7c	196.8 ± 5.5d	227.7 ± 5.9d
NPK	22.9 ± 1.2bc	140.7 ± 5.7b	163.6 ± 6.6b	34.2 ± 1.4ab	227.4 ± 4.4b	261.6 ± 4.8b
NP+S	21.7 ± 0.8c	127.8 ± 4.7c	149.4 ± 5.4c	32.5 ± 1.4bc	207.7 ± 2.6c	240.3 ± 3.0c
NP+1/3K+S	23.0 ± 0.9ab	123.5 ± 5.4c	146.5 ± 6.2c	35.0 ± 1.3a	203.1 ± 9.2c	238.1 ± 8.9c
NP+2/3K+S	23.2 ± 0.4a	141.4 ± 4.3b	164.6 ± 4.5b	34.0 ± 0.7ab	223.1 ± 7.3b	257.1 ± 7.1b
NPK+S	23.8 ± 0.6a	153.8 ± 3.8a	177.6 ± 3.8a	32.5 ± 0.9bc	240.6 ± 7.2a	273.1 ± 6.5a

同样不施钾肥 (NP) 处理 3 季水稻籽粒和秸秆中钾素积累量均为最低。施钾肥和秸秆还田各处理均不同程度提高了水稻籽粒和秸秆的钾素积累量。从水稻地上部钾素积累总量看, 秸秆还田处理 NPK+S 与 NPK 相比, 显著增加了水稻地上部钾素年均积累量, 增幅为 4.4%。秸秆还田替代化学钾肥的 3 个处理与 NPK 处理相比较, 其中, NP+2/3K+S 处理与 NPK 处理相比地上部钾素年均积累量差异不显著, 而 NP+S、NP+1/3K+S 处理的地上部钾素年均积累量均显著低于 NPK 处理, 表明在氮磷配合施用下, 秸秆还田能替代 1/3 化学钾肥而不减少水稻地上部钾素积累量。

2.3 不同处理对钾肥利用率的影响

本试验结果 (表 6) 显示, 秸秆还田处理 NPK+S

与 NPK 处理相比较, 均显著提高了油菜季和水稻季的钾肥吸收利用率, 而对油菜季和水稻季的钾肥农学利用率和偏生产力均没有显著差异。秸秆还田替代化学钾肥的处理 (NP+1/3K+S、NP+2/3K+S) 与 NPK 处理相比, NP+1/3K+S、NP+2/3K+S 处理均显著提高了油菜季钾肥吸收利用率, 分别提升了 19.6%、24.0%。同时 NP+2/3K+S 处理也显著提高了水稻季钾肥吸收利用率, 提升了 11.3%。而 NP+1/3K+S、NP+2/3K+S 处理在油菜季和水稻季的农学利用率上均没有显著差异, 但均提高了钾肥偏生产力。与 NPK 处理相比, NP+1/3K+S 处理将油菜季和水稻季钾肥偏生产力均提高了 2.9 倍, 同样 NP+2/3K+S 处理也将油菜季和水稻季钾肥偏生产力均提高了 1.5 倍。

表 6 施钾肥和秸秆还田对 3 年平均钾肥利用率的影响

处理	油菜			水稻		
	吸收利用率 (%)	农学利用率 (kg/kg)	偏生产力 (kg/kg)	吸收利用率 (%)	农学利用率 (kg/kg)	偏生产力 (kg/kg)
NPK	44.0 ± 9.7b	1.7 ± 2.4a	34.4 ± 2.1c	37.7 ± 4.6b	6.1 ± 1.7a	97.9 ± 1.1c
NP+1/3K+S	63.6 ± 8.6a	2.0 ± 1.4a	100.0 ± 2.0a	34.7 ± 3.8b	7.4 ± 2.5a	282.7 ± 4.9a
NP+2/3K+S	68.0 ± 8.5a	3.0 ± 1.3a	52.0 ± 1.8b	49.0 ± 2.7a	8.5 ± 2.1a	146.1 ± 2.1b
NPK+S	62.7 ± 5.6a	2.2 ± 0.9a	34.9 ± 0.4c	50.5 ± 6.1a	9.0 ± 0.8a	100.8 ± 1.4c

2.4 不同处理对土壤钾素表现平衡的影响

3 个轮作周期的结果 (表 7) 显示, NPK+S 处理土壤钾素在 3 个轮作周期中均处于盈余状态。秸秆还田替代化学钾肥的 3 个处理 (NP+S、NP+1/3K+S、NP+2/3K+S) 在第 1 个轮作周期中土壤钾素均处于亏缺状态, 但随着秸秆还田年限的增加, 钾素亏缺量逐渐减少, 至第 3 个轮作周期时, 秸秆还田替代化学钾肥的 3 个处理土壤钾素均已处于盈余状态, 3 个轮作周期中 3 个处理的钾素表现盈亏量分别为 -101 ~ 25.1、-43.2 ~ 64.4、-2.7 ~ 96.7 kg/hm²。而 NP 和 NPK 处理 3 个轮作周期中土壤钾素均始终处于亏缺状态, 钾素表现盈亏量分别为 -389.2 ~ -300.8、-276.0 ~ -219.0 kg/hm²。这表明单独施钾肥难以弥补土壤钾素的亏缺, 而秸秆还田则有利于维持土壤钾素平衡。

2.5 不同处理对土壤速效钾和缓效钾含量的影响

本试验结果 (表 8) 显示, 2015 年 10 月, 与

NP 处理相比, 各处理均有增加土壤速效钾的趋势, 其中 NPK、NP+2/3K+S、NPK+S 处理均显著增加了土壤速效钾含量, 增加幅度分别为 25.3%、23.8%、42.9%。秸秆还田处理 NPK+S 与 NPK 处理相比, 显著增加了土壤速效钾含量, 增幅为 14.0%。秸秆还田替代化肥钾肥的 NP+1/3K+S、NP+2/3K+S 处理与 NPK 处理相比土壤速效钾含量差异均不显著, 而 NP+S 处理的土壤速效钾含量则显著低于 NPK 处理, 表明秸秆还田能替代 1/3 ~ 2/3 化学钾肥而不使土壤速效钾含量下降。同样, 与 NP 处理相比, 各处理也均有增加土壤缓效钾含量的趋势, 其中 NP+2/3K+S、NPK+S 处理均显著增加了土壤缓效钾含量, 增幅分别为 7.8% 和 11.4%。秸秆还田替代化学钾肥的 3 个处理与 NPK 处理相比较, 土壤缓效钾含量差异均不显著。

表 7 施钾肥和秸秆还田对土壤钾素表现平衡的影响

轮作周期	处理	钾肥用量 (kg/hm ²)		作物钾移走量 (kg/hm ²)	钾素表现盈亏 (kg/hm ²)	钾平衡系数	钾实际平衡率 (%)
		化学钾	秸秆钾				
2012 ~ 2013 年	NP	0	0	389.2 ± 12.3d	-389.2 ± 12.3e	0.00	-100.0
	NPK	165	0	441.0 ± 17.4b	-276.0 ± 17.4d	0.37	-62.6
	NP+S	0	311	412.0 ± 10.7bc	-101.0 ± 10.7c	0.75	-24.5
	NP+1/3K+S	55	307	405.2 ± 24.0cd	-43.2 ± 24.0b	0.89	-10.7
	NP+2/3K+S	110	324	436.7 ± 23.7b	-2.7 ± 24.0a	0.99	-0.6
	NPK+S	165	342	489.6 ± 21.0a	17.4 ± 20.9a	1.00	3.6
2013 ~ 2014 年	NP	0	0	384.7 ± 20.0d	-384.7 ± 20.0f	0.00	-100.0
	NPK	165	0	450.7 ± 14.4b	-285.7 ± 14.4e	0.37	-63.4
	NP+S	0	355	426.5 ± 8.3bc	-71.5 ± 8.3d	0.83	-16.8
	NP+1/3K+S	55	336	410.4 ± 15.4c	-19.4 ± 15.4c	0.95	-4.7
	NP+2/3K+S	110	365	442.0 ± 24.8b	33.0 ± 24.8b	1.07	7.5
	NPK+S	165	418	476.1 ± 9.0a	106.9 ± 8.9a	1.22	22.5
2014 ~ 2015 年	NP	0	0	300.8 ± 7.8c	-300.8 ± 7.8f	0.00	-100.0
	NPK	165	0	384.0 ± 14.4a	-219.0 ± 14.4e	0.43	-57.0
	NP+S	0	348	322.9 ± 11.0b	25.1 ± 10.9d	1.08	7.8
	NP+1/3K+S	55	340	330.6 ± 4.9b	64.4 ± 11.9c	1.19	19.5
	NP+2/3K+S	110	373	386.3 ± 13.9a	96.7 ± 18.4b	1.25	25.0
	NPK+S	165	386	393.8 ± 10.6a	157.2 ± 16.1a	1.40	40.0
总计	NP	0	0	1 074.7 ± 17.4d	-1 074.7 ± 17.4f	0.00	-300.0
	NPK	495	0	1 275.7 ± 20.2b	-780.7 ± 20.2e	1.17	-183.0
	NP+S	0	1 014	1 161.4 ± 12.3c	-147.4 ± 12.3d	2.66	-33.5
	NP+1/3K+S	165	983	1 146.2 ± 44.6c	1.8 ± 44.6c	3.03	4.1
	NP+2/3K+S	330	1 062	1 265.0 ± 26.3b	127.0 ± 26.3b	3.31	31.9
	NPK+S	495	1 146	1 359.5 ± 31.5d	281.5 ± 31.5a	3.62	66.1

表 8 2015 年 10 月秸秆还田配施钾肥对土壤钾含量的影响 (mg/kg)

处理	速效钾含量	缓效钾含量
NP	111.75 ± 3.66d	503.24 ± 25.10b
NPK	140.05 ± 6.32b	533.89 ± 30.20ab
NP+S	119.86 ± 10.53cd	509.29 ± 19.13ab
NP+1/3K+S	127.96 ± 10.32bcd	526.16 ± 31.99ab
NP+2/3K+S	138.35 ± 10.53bc	542.27 ± 36.76a
NPK+S	159.69 ± 8.37a	560.36 ± 36.43a

3 讨论

金梦灿等^[12]研究表明, 秸秆还田可以替代

30% 化学钾肥而不使水稻减产。本研究结果显示, 秸秆还田可以替代 1/3 的化学钾肥而对稻油轮作制周年作物的总产量无明显负效应。这主要是由于秸秆中钾素含量丰富, 约占秸秆干物质量的 1.5%, 尤其禾本科作物吸收的钾素 80% 以上存在于秸秆中, 主要以离子形式存在, 这部分钾素可以快速释放到土壤中被作物吸收利用^[7]。前人研究结果进一步表明, 秸秆还田可替代的化学钾肥量与土壤供钾水平高低密切相关^[11]; 本研究连续 3 年的作物产量结果则显示针对不同作物, 秸秆还田可替代化学钾肥的效果也不尽一致。油菜季秸秆还田可以替代 1/3 ~ 2/3 的化学钾肥, 而水稻季随着试验年限的增加, 秸秆还田能够替代化学钾肥的量呈减少趋势。相关研究表明, 秸秆还田可显著提高钾肥吸收

利用率和偏生产力^[12-13]。这与本研究结果相一致, 秸秆还田替代化学钾肥的处理均不同程度提高了油菜和水稻对钾素的吸收量, 从而也提高油菜季和水稻季的钾肥吸收利用率。其中秸秆还田替代 1/3 和 2/3 的化学钾肥显著提高了油菜季的钾肥吸收利用率, 替代 1/3 的化学钾肥显著提高了水稻季的钾肥吸收利用率。同时, 秸秆还田替代 1/3 和 2/3 的化学钾肥也显著提高了油菜季和水稻季的钾肥偏生产力。

谭德水等^[14]连续 13 年的定位试验研究表明, 只施用氮、磷肥会使土壤钾素处于严重的亏缺状态。谢佳贵等^[15]研究表明, 单施钾肥处理和单施秸秆处理均会使土壤钾素处于亏缺状态, 而秸秆还田配施钾肥处理的土壤钾素则处于盈余状态。本试验研究表明秸秆还田替代化学钾肥的 3 个处理虽然在第 1 个轮作周期中土壤钾素均处于亏缺状态, 但随着秸秆还田年限的增加, 钾素亏缺量逐渐减少, 至第 3 个轮作周期时, 秸秆还田替代化学钾肥的 3 个处理土壤钾素均已处于盈余状态, 而单独施钾肥的处理在 3 个轮作周期中始终处于亏缺状态, 表明了单独施钾肥均难以弥补土壤钾素的亏缺, 而秸秆还田则有利于维持土壤钾素平衡。

土壤速效钾和缓效钾含量是评价土壤钾对作物有效性的重要指标。王宏庭等^[9]研究表明, 与不施钾肥处理相比, 施钾肥、单独秸秆还田和秸秆还田配施钾肥均显著增加土壤速效钾和缓效钾含量。本试验中, 秸秆还田配施钾肥处理均有不同程度增加土壤速效钾和缓效钾含量的趋势, 其中 NP+2/3K+S、NPK+S 处理均显著增加了土壤速效钾和缓效钾含量, 增加幅度分别为 23.8%、42.9% 和 7.8%、11.4%。表明秸秆还田配施钾肥, 有利于弥补土壤钾素的亏缺, 这对维持土壤养分平衡有重要意义。

4 结论

从作物产量上看, 不同作物上秸秆还田可替代的钾肥量不一样。油菜季秸秆还田可以替代 1/3 ~ 2/3 的化学钾肥。水稻季随着试验年限的增加, 秸秆还田能够替代化学钾肥的量呈减少趋势。从轮作周期秸秆还田替代化学钾肥效应上看, 秸秆还田可以替代 1/3 的化学钾肥而不减少水稻和油菜的总产量。

油菜季, 秸秆还田替代 1/3 和 2/3 化学钾肥均

可显著提高钾肥吸收利用率和偏生产力; 水稻季, 秸秆还田替代 1/3 的化学钾肥可显著提高钾肥吸收利用率, 替代 1/3 和 2/3 的化学钾肥均可显著提高钾肥偏生产力。

单施钾肥难以弥补土壤钾素的亏缺, 而秸秆还田在一定程度上可以改善土壤钾素亏缺, 并使土壤中的各形态钾含量重新恢复动态平衡。

参考文献:

- [1] 武际, 郭熙盛, 鲁剑巍, 等. 不同水稻栽培模式下小麦秸秆腐解特征及对土壤生物学特性和养分状况的影响 [J]. 生态学报, 2013, 33 (2): 565-575.
- [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 [J]. 西南农业学报, 2006, 19 (2): 192-195.
- [3] 谭德水, 金继运, 黄绍文, 等. 灌淤土区长期施钾对作物产量与养分及土壤钾素的长期效应研究 [J]. 中国生态农业学报, 2009, 17 (4): 625-629.
- [4] 田慎重, 郭洪海, 董晓霞, 等. 耕作方式转变和秸秆还田对土壤活性有机碳的影响 [J]. 农业工程学报, 2016, 32 (2): 39-45.
- [5] 武均, 蔡立群, 罗迪, 等. 不同耕作措施对陇中黄土高原雨养农田土壤团聚体稳定性和 C、N、P 的影响 [J]. 水土保持学报, 2014, 28 (6): 234-239.
- [6] 李明德, 吴海勇, 聂军, 等. 稻草及其循环利用后的有机废弃物还田效用研究 [J]. 中国农业科学, 2010, 43 (17): 3572-3579.
- [7] Yu C J, Qin J G, Xu J, et al. Straw combustion in circulating fluidized bed at low-temperature transformation and distribution of potassium [J]. Canadian Journal of Chemical Engineering, 2010, 88 (5): 874-880.
- [8] 姜超强, 郑青松, 祖朝龙. 秸秆还田对土壤钾素的影响及其替代钾肥效应研究进展 [J]. 生态学杂志, 2015, 34 (4): 1158-1165.
- [9] 王宏庭, 金继运, 王斌, 等. 山西褐土长期施钾和秸秆还田对冬小麦产量和钾素平衡的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2010, 16 (4): 801-808.
- [10] 谷红霞. 出口卡塔尔与中国钾肥进口定价权的研究 [D]. 北京: 对外经济贸易大学, 2014.
- [11] 张磊, 张维乐, 鲁剑巍, 等. 秸秆还田条件下不同供钾能力土壤水稻、油菜、小麦钾肥减量研究 [J]. 中国农业科学, 2017, 50 (19): 3745-3756.
- [12] 金梦灿, 张舒予, 邵建建, 等. 麦秆还田下钾肥减量对水稻产量及钾肥利用率的影响 [J]. 中国生态农业学报, 2017, 25 (11): 1653-1660.
- [13] 李继福, 鲁剑巍, 任涛, 等. 稻田不同供钾能力条件下秸秆还田替代钾肥效果 [J]. 中国农业科学, 2014, 47 (2): 292-302.

- [14] 谭德水, 金继运, 黄绍文. 长期施钾对东北春玉米产量和土壤钾素状况的影响 [J]. 中国农业科学, 2007, 40 (10): 2234-2240.
- [15] 谢佳贵, 侯云鹏, 伊彩侠, 等. 施钾和秸秆还田对春玉米产量、养分吸收及土壤钾素平衡的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2014, 20 (5): 1110-1118.

Effect of continuous straw incorporation substitute for K-fertilizer on crop yield and soil potassium balance

CHENG Wen-long¹, HAN Shang¹, WU Ji^{1*}, LI Min¹, SHI Zu-liang², WANG Hui¹, TANG Shan¹, HU Peng³, HUANG Hui⁴ (1. Soil and Fertilizer Research Institute, Anhui Academy of Agricultural Sciences, Anhui Provincial Key Laboratory of Nutrient Recycling, Resources and Environment, Anhui Hefei 230031; 2. Rural Energy and Environment Agency, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Beijing 100125; 3. Chaohu County Center of Agri-Technology, Anhui Chaohu 238000; 4. Huangshan County Center of Agri-Technology, Anhui Huangshan 245600)

Abstract: The effects of continuous straw returning to field and recommended potassium fertilizer on yields of rapeseed and rice, K uptake, K efficiency and soil potassium content were studied to explore the effect of continuous straw returning to replace potassium fertilizer under rice-rapeseed rotation system. The results show that: 1) The rapeseed season returning straw can replace 1/3 ~ 2/3 of potash without reducing the yield of rapeseed. With the increase of trial years in rice season, the amount of straw returning which can replace chemical potassium fertilizer is decreasing. In the rotation cycle, straw returning can replace 1/3 of chemical potassium fertilizer without reducing the total yield of rapeseed and rice. 2) Compared with NPK treatment, NP+1/3K+S and NP+2/3K+S treatment significantly increased potassium absorption efficiency and partial productivity in rapeseed season; The NP+2/3K+S treatment significantly improved potassium fertilizer absorption efficiency and partial productivity, while NP+1/3K+S treatment also significantly increased potassium fertilizer partial productivity in rice season. 3) In the three rotation cycles, the soil potassium of no potassium fertilizer (NP) and single application potassium fertilizer (NPK) were always in a deficit state. Although the soil potassium of straw replacement potassium fertilizer treatment (NP, NP+1/3K+S, NP+2/3K+S) was in a deficit state during the first rotation cycle, the deficit decreased gradually with the straw returning to field. By the third rotation cycle, the soil potassium was in surplus state. 4) The treatments of straw returning with potassium fertilizer increased the available potassium content in the plough layer and slowed down the decline of potassium content in the plough layer. It indicates that straw returning with potassium fertilizer is beneficial to reduce the soil potassium deficiency, which is of great significance for maintaining soil potassium balance.

Key words: straw returning; potassium fertilizer; substitute; rapeseed-rice rotation