油菜—烤烟轮作体系中油菜秸秆还田方式及钾肥减量对烤烟钾素利用效率的影响

赵文军[1], 薛开政[1], 尹　梅[2], 胡保文[1], 王正旭[1], 王志远[2], 付利波[2], 陈检锋[2], 王　伟[2], 杨艳鲜[2], 王应学[2], 何正海[3], 陈　华[2*]

（1. 红塔烟草（集团）有限责任公司原料部，云南 玉溪 653100；2. 云南省农业科学院农业环境资源研究所，云南 昆明 650205；3. 富宁县农业机械化技术推广站，云南 富宁 663400）

摘　要：【目的】在烤烟—油菜轮作体系下，探讨油菜秸秆还田对烤烟化学钾肥减量的潜力，研究秸秆还田后烤烟钾肥的利用效率，为该轮作体系下秸秆资源化利用及钾肥减量提供科学依据和技术参考。**【方法】**试验针对一年两熟制的烤烟—油菜轮作模式，以 K326 品种烤烟和油菜秸秆为试验材料，通过田间定位试验，设置不同 N、P、K 化肥用量和秸秆直接还田（S）和腐熟后还田（DS）8 个处理：（1）NP；（2）NPK（对照）；（3）NP + 85%K + S；（4）NP + 70%K + S；（5）NP + 55%K + S；（6）NP + 85%K + DS；（7）NP + 70%K + DS；（8）NP + 55%K + DS，分析不同处理对烤烟产量、产值、钾素吸收量、钾肥利用率及土壤钾素平衡的影响。**【结果】**油菜秸秆腐熟还田减施钾肥 30% 处理烤烟产值最高，两年产值分别为 78662 元 hm^{-2} 和 81071 元 hm^{-2}。秸秆腐熟后还田处理的烤烟钾素吸收总量要高于秸秆直接还田处理，秸秆腐熟后还田减施钾肥 30% 处理最高。两种还田方式连续秸秆还田后，有利于提高钾肥利用率，秸秆腐熟后还田处理的钾肥利用率高于秸秆直接还田处理。两种秸秆还田方式在减施化学钾肥 15 ~ 30% 时，土壤钾素盈余仍高于对照处理，最高为秸秆直接还田减施钾肥 15% 处理。**【结论】**在烤烟—油菜轮作模式下，秸秆直接还田和秸秆腐熟后还田均可减少烤烟季化学钾肥投入量 30%，采用秸秆腐熟还田烤烟的产量、产值和钾肥利用率等均要好于秸秆直接还田。

关　键　词：油菜；烤烟；轮作；产值；钾肥利用率；钾素平衡

中图分类号：S157.4　　**文献标识码：**A　　**文章编号：**0564−3945(2022)03−0675−07

DOI: 10.19336/j.cnki.trtb.2021061004

赵文军, 薛开政, 尹　梅, 胡保文, 王正旭, 王志远, 付利波, 陈检锋, 王　伟, 杨艳鲜, 王应学, 何正海, 陈　华. 油菜—烤烟轮作体系中油菜秸秆还田方式及钾肥减量对烤烟钾素利用效率的影响 [J]. 土壤通报, 2022, 53(3): 675 − 681

ZHAO Wen-jun, XUE Kai-zheng, YIN Mei, HU Bao-wen, WANG Zheng-xu, WANG Zhi-yuan, FU Li-bo, CHEN Jian-feng, WANG Wei, YANG Yan-xian, WANG Ying-xue, HE Zheng-hai, CHEN Hua. Effects of Rape Straw Returning Method and Reduction of Potassium Fertilizer on Potassium Use Efficiency of Tobacco in Tobacco-rape Rotation[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2022, 53(3): 675 − 681

【研究意义】中国是世界第一大钾肥进口国, 由于国际钾肥资源的垄断, 钾肥的价格一直居高不下[1−2]。钾是烤烟必需的三大元素之一，对其产量及产值起着至关重要的作用，且是烟叶重要的品质指标，是公认的烟草品质元素[3−5]，在烤烟栽培中，钾肥的投入远远超过氮、磷等其它营养元素的投入。中国是世界上规模最大的烟草生产国，生产量居世界第一[6]，烤烟生产每年的钾肥的消耗数量巨大，为追求烟叶品质和提高烟叶含钾量，在烤烟单季生产中，投入的钾肥量远远超过对烤烟正常生长的需求量，对钾肥资源造成巨大浪费的同时也危害着土壤的健康。**【前人研究进展】**油菜秸秆中富含氮、磷、钾等成分，尤以钾较为丰富[7−8]，烤烟跟油菜轮作是一种重要的轮作模式[9]，大量的油菜秸秆就是一种可就地利用的钾肥资源，研究表明，通过油菜秸秆还田可在多种作物上不同程度地替代化学钾肥的施用[10−12]，同时通过油菜秸秆还田对提高土壤肥力、改善理化性状、减轻土壤盐化和提高保墒能力有着明显作用[13−14]。因此，结合油烟轮作模式对油菜秸秆进行还田，既促进了油菜秸秆的资源化利用，又减少烤烟化学钾

收稿日期：2021−06−21；**修订日期：**2021−12−26

基金项目：红塔烟草（集团）有限责任公司科技计划项目（2019YL07）和国家重点研发计划（2018YFD0200903）资助

作者简介：赵文军（1984−），男，云南昌宁人，硕士，高级农艺师，主要从事烟叶生产、技术推广及现代烟草农业基地单元建设与管理。E-mail: zhaowenjun19840207@163.com

*通讯作者：E-mail: chenhua19792003@126.com

肥的投入，缓解钾肥资源紧缺带来的矛盾[15]。**【本研究切入点】**本文采用田间试验，以云南省澄江市烤烟—油菜轮作系统为研究对象，研究油菜秸秆还田后替代烤烟化学钾肥的潜力及烤烟对钾肥的利用效率，同时对油菜秸秆还田方式进行探讨。**【拟解决的问题】**通过研究探讨油烟轮作模式下油菜秸秆还田对烤烟产质量、钾素吸收量和钾肥利用率的影响，明确通过油菜秸秆还田替代烤烟化学钾肥的潜力及对土壤钾素平衡的影响，以期为该轮作模式下秸秆还田利用提供数据参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验于 2018 年在云南省玉溪市澄江县龙街街道后香村进行，试验地坐标为东经 102°52′49″，北纬 24°38′22″，海拔为 1698 m。供试土壤为水稻土，试验前于试验地分别取多点耕作层土壤样品混合，带回室内风干后进行分析，试验地土壤基本理化性质为 pH 6.07，有机质 45.7 g kg^{-1}，全氮 2.52 g kg^{-1}，全磷 2.01 g kg^{-1}，全钾 16.6 g kg^{-1}，水解性氮 218.2 mg kg^{-1}，有效磷 104.3 mg kg^{-1}，速效钾 321.2 mg kg^{-1}。

供试油菜品种为云油杂 28 号，烤烟品种为 K326，试验所用肥料：烟草专用复合肥（N 12%，P_2O_5 6%，K_2O 24%），硝酸铵钙（含 N 27%），过磷酸钙（P_2O_5 16%），硫酸钾（K_2O 50%）。

1.2 试验设计

试验采用一年两熟制的烤烟—油菜轮作模式，试验小区面积 36 m^2，三次重复，随机区组排列。共 8 个处理，分别为（1）NP，（2）NPK（对照），（3）NP + 85%K + S，（4）NP + 70%K + S，（5）NP + 55%K + S，（6）NP + 85%K + DS，（7）NP + 70%K + DS，（8）NP + 55%K + DS；其中，N 和 P 表示氮肥和磷肥，K 表示钾肥，S 表示秸秆直接还田，DS 表示秸秆腐熟后还田。油菜收获时，油菜秸秆分开收获后均对应小区，直接还田处理将秸秆粉碎后全量翻压还田到对应小区，腐熟还田处理将秸秆粉碎后堆捂发酵，待完全腐熟后全量还田到对应小区，不施用秸秆的处理油菜秸秆全部清除。钾肥减量试验只在烤烟季进行，除施肥和秸秆还田外，油菜和烤烟其它生产管理方式均按照当地农业部门推荐方法进行。试验于 2018 年 10 月种植油菜开始实施，至 2020 年 9 月烤烟收获后结束，2019 ~ 2020 两季油菜施肥量相同，N 为 240 kg hm^{-2}，P_2O_5 为 105 kg hm^{-2}，K_2O 为 105 kg hm^{-2}，两季烤烟化肥和油菜秸秆施用量见表 1。

表 1 2019 ~ 2020 烤烟季化肥和秸秆投入量（kg hm^{-2}）

Table 1 2019 ~ 2020 application rates of fertilizer and straw in tobacco season（kg hm^{-2}）

处理 Treatment	2019年 In 2019				2020年 In 2020			
	N	P_2O_5	K_2O	秸秆 Straw	N	P_2O_5	K_2O	秸秆 Straw
NP	97.5	60	0	0	97.5	60	0	0
NPK	97.5	60	260	0	97.5	60	260	0
NP + 85%K + S	97.5	60	221	4310	98	60	221	4426
NP + 70%K + S	97.5	60	182	4360	98	60	182	4265
NP + 55%K + S	97.5	60	143	4224	98	60	143	4138
NP + 85%K + DS	97.5	60	221	4353	98	60	221	4265
NP + 70%K + DS	97.5	60	182	4241	98	60	182	4355
NP + 55%K + DS	97.5	60	143	4396	98	60	143	4282

1.3 样品采集与测定

油菜收获时，每小区随机选取 10 株具有代表性植株，烘干去除籽粒后对茎秆进行称重，并测定钾含量，烤烟收获时，每小区随机选取 10 株，分为根、茎、叶三部分，杀青烘干后分别称重，并测定钾含量，钾的测定采用火焰原子吸收分光光度法。烤烟成熟后，分小区挂牌编竿烘烤，烘烤结束后对各小区产量实测，并由当地烟草公司收购系统技术人员按照相关标准对烟叶进行等级评定，并统计产量、均价、上等烟比例和产值等经济性状。

1.4 数据分析

相关参数计算方法：钾肥利用率（%）=（施钾区吸钾量 − 缺钾区吸钾量）÷ 施钾量 × 100；钾肥农学效率（kg kg^{-1}）=（施钾区经济产量 − 缺钾区经济产量）÷ 施钾量；钾素经济学利用效率（kg kg^{-1}）= 经济学产量 ÷ 植株钾素吸收量；钾素生物学利用效

率（kg kg^{-1}）= 生物学产量 ÷ 植株钾素吸收量；钾平衡系数 = 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%。

数据分析采用 SPSS 25.0 软件和 EXCEL 软件。

2　结果与分析

2.1　油菜秸秆还田对烤烟产量及产值的影响

两年烤烟产量和产值结果显示（表 2），不施钾肥的 NP 处理产量、产值和上等烟比例均为最低。2019 年度秸秆直接还田的 NP + 85%K + S 处理产量显著高于 NPK 处理，NP + 70%K + S 和 NP + 55%K + S 处理产量与 NPK 处理产量差异不显著，秸秆腐熟后还田的 NP + 85%K + DS、NP + 70%K + DS 和 NP + 55%K + DS 处理与 NPK 处理相比较产量差异不显著；2020 年度秸秆直接还田的 NP + 70%K + S 处理产量显著高于 NPK 处理，NP + 85%K + S 和 NP + 55%K + S 处理产量与 NPK 处理产量差异不显著，秸秆腐熟后还田的 NP + 85%K + DS、NP + 70%K + DS 和 NP + 55%K + DS 处理产量均显著高于 NPK 处理。上等烟比例 2019 年度秸秆直接还田的 NP + 85%K + S、NP + 70%K + S 和 NP + 55%K + S 处理均显著高于 NPK 处理，秸秆腐熟后还田的 NP + 70%K + DS 和 NP + 55%K + DS 处理上等烟比例显著高于 NPK 处理，NP + 85%K + DS 处理与 NPK 处理相比无显著差异；2020 年度秸秆直接还田的 NP + 85%K + S、NP + 70%K + S 和 NP + 55%K + S 处理上等烟比例均显著高于 NPK 处理，秆腐熟后还田的 NP + 85%K + DS、NP + 70%K + DS 和 NP + 55%K + DS 处理的上等烟比例均显著高于 NPK 处理。2019 年度秸秆直接还田的 NP + 85%K + S、NP + 70%K + S 和 NP + 55%K + S 处理产值与 NPK 处理差异不显著，秸秆腐熟后还田的 NP + 70%K + DS 和 NP + 55%K + DS 处理产值显著高于 NPK 处理；2020 年度秸秆直接还田的 NP + 70%K + S 处理产值显著高于 NPK 处理；秆腐熟后还田的 NP + 85%K + DS 和 NP + 70%K + DS 处理产值显著高于 NPK 处理。利用油菜秸秆直接还田和腐熟还田两种方式连续两年还田并减施化学钾肥 15% ~ 45%，未对烤烟产量和产值产生负显著效应，在同等减施量下，秸秆腐熟还田处理烤烟产值要好于秸秆直接还田处理。

表 2　秸秆还田对烤烟产量和产值的影响

Table 2　Effects of straw returning on yield and output value of flue-cured tobacco

处理 Treatment	2019年 In 2019			2020年 In 2020		
	产量（kg hm^{-2}）Yield	上等烟比例（%）Proportion of first-class tobacco leaves	产值（元 hm^{-2}）Output value	产量（kg hm^{-2}）Yield	上等烟比例（%）Proportion of first-class tobacco leaves	产值（元 hm^{-2}）Output value
NP	2146 ± 26 d	56.3 ± 3.4 c	52309 ± 1212 d	2098 ± 35 e	52.8 ± 1.9 c	53280 ± 1331 d
NPK	2605 ± 67 bc	56.4 ± 1.9 c	68893 ± 2435 c	2616 ± 103 d	56.1 ± 0.6 c	69838 ± 608 c
NP + 85%K + S	2797 ± 109 a	60.9 ± 2.1 b	70996 ± 624 bc	2719 ± 28 bcd	61.9 ± 3.1 ab	73378 ± 637 bc
NP + 70%K + S	2549 ± 80 c	61.3 ± 3.4 b	69591 ± 823 bc	2773 ± 65 abc	63.3 ± 2.9 ab	74475 ± 1654 b
NP + 55%K + S	2511 ± 104 c	63.6 ± 3.3 b	67735 ± 1164 c	2651 ± 88 cd	65.5 ± 2.6 ab	71300 ± 706 bc
NP + 85%K + DS	2769 ± 160 ab	60.7 ± 1.2 bc	73884 ± 1917 ab	2819 ± 130 ab	61.5 ± 1.3 b	75362 ± 1479 b
NP + 70%K + DS	2758 ± 85 ab	62.4 ± 1 b	78662 ± 1590 a	2889 ± 73 a	63.9 ± 1.7 ab	81071 ± 2234 a
NP + 55%K + DS	2484 ± 124 c	68.5 ± 2.9 a	70675 ± 2189 bc	2779 ± 58 abc	65.9 ± 3.7 a	73011 ± 1665 bc

注：每列不同小写字母表示处理之间差异显著($P < 0.05$)，下同。烤烟产值、上等烟比例以2020年云南烤烟收购标准为依据。

2.2　油菜秸秆还田对烤烟钾素吸收量的影响

表 3 显示为秸秆还田后的烤烟钾素养分吸收量，2019 年度秸秆直接还田的 NP + 85%K + S、NP + 70%K + S 和 NP + 55%K + S 三个处理，烤烟钾素吸收总量表现为随着替代量的增加而降低，但该三个处理与 NPK 处理相比差异不显著；秸秆腐熟后还田的 NP + 85%K + DS、NP + 70%K + DS 和 NP + 55%K + DS 处理与 NPK 处理相比烤烟钾素吸收总量差异不显著，但在同等替代量下腐熟还田处理要高于直接还田处理。2020 年度秸秆直接还田的 NP + 85%K + S、NP + 70%K + S 处理与 NPK 处理相比烤烟钾素吸收总量差异不显著， NP + 55%K + S 处理显著低于 NPK 处理；秸秆腐熟后还田的 NP + 85%K + DS、NP + 70%K + DS 和 NP + 55%K + DS 处理与 NPK 处理相比烤烟钾素吸收总量差异均不显著。油菜秸秆直接还田，在减施化学钾肥 15% ~ 30% 时，烤烟钾素吸收总量未显著降低，减施钾肥 45% 时，有明显降低，通过油菜秸秆腐熟还田，在减施化学

表 3 秸秆还田对烤烟钾素吸收量的影响

Table 3 Effect of straw returning on potassium absorption of tobacco

处理 Treatment	2019年 In 2019				2020年 In 2020			
	叶（kg hm²） Leave	茎（kg hm²） Stem	根（kg hm²） Root	总量（kg hm²） Total	叶（kg hm²） Leave	茎（kg hm²） Stem	根（kg hm²） Root	总量（kg hm²） Total
NP	33.3 ± 1.7 d	11.8 ± 0.6 d	5.4 ± 0.1 e	50.5 ± 2.1 d	32.4 ± 1.7 c	11.3 ± 0.6 d	5.1 ± 0.2 e	48.8 ± 2.3 c
NPK	67.7 ± 0.6 abc	20.9 ± 0.8 a	9.1 ± 0.5 d	97.7 ± 0.7 abc	71.2 ± 1.7 a	21.9 ± 0.9 c	9.3 ± 0.3 d	102.4 ± 0.9 a
NP + 85%K + S	68.3 ± 0.8 ab	19.8 ± 0.6 ab	9.8 ± 0.6 c	97.9 ± 1.5 ab	71.7 ± 2.6 a	21.6 ± 0.7 c	10.2 ± 0.6 c	103.5 ± 3.7 a
NP + 70%K + S	65.7 ± 1.3 c	19.9 ± 1.4 ab	10.1 ± 0.3 c	95.7 ± 0.5 bc	70.7 ± 1.4 a	20.6 ± 0.7 c	10.5 ± 0.3 bc	101.7 ± 0.7 a
NP + 55%K + S	65.7 ± 0.8 c	17.4 ± 0.4 c	10.8 ± 0.5 b	93.9 ± 1.6 c	66.4 ± 1.9 b	19 ± 0.3 b	10.3 ± 0.3 bc	95.6 ± 1.7 b
NP + 85%K + DS	69 ± 0.8 a	19.6 ± 0.9 ab	9.9 ± 0.3 c	98.5 ± 1.7 a	71.7 ± 1.6 a	20.6 ± 0.3 a	10.6 ± 0.4 b	102.8 ± 1.7 a
NP + 70%K + DS	67.3 ± 1.4 abc	20.5 ± 0.4 ab	10.9 ± 0.4 b	98.7 ± 1.5 a	71.2 ± 2.2 a	21.8 ± 1.3 a	11.2 ± 0.8 ab	104.2 ± 2.4 a
NP + 55%K + DS	66.3 ± 1.9 bc	19.3 ± 0.9 b	10.9 ± 0.6 a	96.5 ± 1.9 abc	70.9 ± 0.3 a	20.6 ± 1.6 a	11.6 ± 0.4 a	103.1 ± 1.2 a

钾肥 15% ~ 45% 时，烤烟钾素吸收总量均无显著负效应。

2.3 油菜秸秆还田对烤烟钾肥利用率的影响

表 4 显示为秸秆还田后的烤烟钾肥利用情况，2019 年度秸秆直接还田和腐熟还田处理与 NPK 处理相比均显著提高了钾肥利用率，其中秸秆直接还田的 NP + 85%K + S、NP + 70%K + S 和 NP + 55%K + S 三个处理，分别提升了 3.3%、6.7% 和 12.2%，秸秆腐熟后还田的 NP + 85%K + DS、NP + 70%K + DS 和 NP + 55%K + DS 三个处理，分别提升了 3.6%、8.3% 和 14.2%；2020 年度秸秆直接还田和腐熟还田处理与 NPK 处理相比也显著提高了钾肥利用率，其中秸秆直接还田的 NP + 85%K + S、NP + 70%K + S 和 NP + 55%K + S 三个处理，分别提升了 4.02%、8.17% 和 11.59%，秸秆腐熟后还田的 NP + 85%K + DS、NP + 70%K + DS 和 NP + 55%K + DS 三个处理，分别提升了 4.7%、9.5% 和 16.68%；在同等替代量下腐熟还田处理要高于直接还田处理。钾肥农学效率 2019 年秸秆直接还田的 NP + 70%K + S 处理和秸秆腐熟还田的 NP + 70%K + DS 处理显著高于 NPK 处理，2020 年除 NP + 85%K + S 处理与 NPK 处理相比不显著外，其它处理均显著高于 NPK 处理。钾肥经济学利用效率 2019 年所有秸秆还田处理与 NPK 处理相比均不显著，2020 年秸秆直接还田的 NP + 70%K + S、NP + 55%K + S 和秸秆腐熟后还田的 NP + 85%K + DS、NP + 70%K + DS 处理显著高于 NPK 处理。利用油菜秸秆直接还田或腐熟后还田，在化学钾肥减施 15% ~ 45% 时，各处理烤烟钾肥利用率与 NPK 处理对比都有所提高，同等减施量下，腐熟秸秆还田处理钾肥利用率高于秸秆直接还田处理，同一处理 2020 年钾肥利用效率要高于 2019 年，说明连续秸秆还田，有利于促进烤烟对钾的吸收和利用。

表 4 秸秆还田对烤烟钾肥利用效率的影响

Table 4 Effect of straw returning on potassium use efficiency of tobacco

处理 Treatment	2019年 In 2019			2020年 In 2020		
	钾肥利用率 KUE （%）	钾肥农学效率 KAE （kg kg⁻¹）	钾肥经济学利用效率 KEUE （kg kg⁻¹）	钾肥利用率 KUE （%）	钾肥农学效率 KAE （kg kg⁻¹）	钾肥经济学利用效率 KEUE （kg kg⁻¹）
NP	–	–	–	–	–	–
NPK	18.2 ± 0.9 d	1.8 ± 0.2 c	26.7 ± 0.6 abc	20 ± 0.5 e	2 ± 0.4 e	25.5 ± 1.2 b
NP + 85%K + S	21.5 ± 0.6 c	2.9 ± 0.6 ab	28.6 ± 1.4 a	24 ± 2.4 d	2.8 ± 0.1 de	26.3 ± 1.2 ab
NP + 70%K + S	24.9 ± 0.7 b	2.2 ± 0.5 bc	26.6 ± 0.9 bc	28.1 ± 0.7 c	3.7 ± 0.4 bcd	27.3 ± 0.8 a
NP + 55%K + S	30.4 ± 0.8 a	2.5 ± 0.6 abc	26.7 ± 1 abc	31.6 ± 2.2 b	3.9 ± 0.9 abc	27.7 ± 0.5 a
NP + 85%K + DS	21.7 ± 1.3 c	2.8 ± 0.6 abc	28.1 ± 1.5 ab	24.7 ± 1.4 d	3.3 ± 0.7 cd	27.4 ± 1.3 a
NP + 70%K + DS	26.5 ± 1.7 b	3.4 ± 0.6 a	27.9 ± 0.5 ab	29.5 ± 2.3 bc	4.3 ± 0.5 ab	27.7 ± 0.1 a
NP + 55%K + DS	32.2 ± 2.4 a	2.4 ± 1.1 abc	25.7 ± 1.4 c	36.8 ± 1.9 a	4.8 ± 0.2 a	27 ± 0.9 ab

2.4 油菜秸秆还田对土壤钾素平衡的影响

两年试验结果（表 5）显示，除不施钾的 NP 处理钾素盈余处于亏缺状态外，其它处理均为盈余状态，秸秆直接还田的 NP + 85%K + S、NP + 70%K + S 处理和秸秆腐熟还田的 NP + 85%K + DS、NP + 70%K + DS 处理钾素盈余显著高于 NPK 处理，NP + 55%K + S 和 NP + 55%K + DS 处理则显著低于 NPK 处理。钾平衡系数是指钾素投入量与支出量之比，

是衡量钾养分收支平衡的指标之一，秸秆直接还田和秸秆腐熟还田的 NP + 85%K + S、NP + 70%K + S、NP + 85%K + DS、NP + 70%K + DS 处理，钾平衡系数和钾平衡率均高于 NPK 处理。通过秸秆还田替代化学钾肥 15 ~ 30%，土壤钾素盈余均高于全量施钾处理，在秸秆还田替代化学钾肥 45% 时，与 NPK 处理处理相比略有下降，但土壤钾素仍处于盈余状态，说明秸秆还田可为烤烟提供大量钾素营养补充。

表 5　秸秆还田对土壤钾素平衡的影响

Table 5　Effect of straw returning on potassium balance in soil

处理 Treatment	钾素投入量（kg hm²） Application rate of K		烤烟移走量 Removal of tobacco（kg hm²）	钾素盈亏 Surplus and deficit of potassium（kg hm²）	钾平衡系数 Potassium balance coefficient	钾平衡率 Potassium balance rate（%）
	化学钾 Chemical Potassium	秸秆钾 Straw Potassium				
NP	0	0	99.3 ± 2.4 d	−99.3 ± 2.4 h	0.0	−100.0
NPK	520	0	200.2 ± 1.2 ab	319.8 ± 1.2 e	2.6	159.8
NP + 85%K + S	442	186	201.5 ± 2.5 ab	427 ± 2.5 a	3.1	211.9
NP + 70%K + S	364	185	197.5 ± 1.1 b	351.9 ± 1.1 c	2.8	178.2
NP + 55%K + S	286	161	189.6 ± 2.3 c	257.4 ± 2.4 g	2.4	135.7
NP + 85%K + DS	442	170	201.3 ± 3.3 ab	411 ± 3.3 b	3.0	204.2
NP + 70%K + DS	364	179	202.8 ± 3.8 a	340.7 ± 3.8 d	2.7	168.0
NP + 55%K + DS	286	173	199.6 ± 2 ab	259.2 ± 2 f	2.3	129.9

3　讨论

钾对提高烤烟生长抗逆性和烟叶品质具有重要作用，施用钾肥是提高烟叶质量的重要措施[16−17],本研究中，不施钾肥对烤烟的产量和产值产生了极为明显的负效应。据研究，随着秸秆还田量的增加，烤烟的株高、叶片数、叶面积、产量、会相应增加[18−19],连续多年秸秆还田条件下，对作物产量增加会更明显[20−21]，本研究中，相同秸秆还田处理第二年的烤烟产量和产值要高于第一年。烤烟生产中，产量并不是决定产值的唯一要素，产值跟烟叶外观质量的优劣更为相关[22−23],本研究认为，在同等化学钾肥减施量下，采用秸秆腐熟还田处理更有利于烟叶外观质量的提高和产值的增加。

烤烟体内钾素的分配，主要集中在烟叶中，其次是茎，根中钾含量最少[24]，本研究烟株各器官钾素分配表现为叶 > 茎 > 根，与上述研究相同。在一定的化学钾肥施用范围内，烤烟钾吸收总量与施钾量呈显著正相关[25]，不同的钾肥施用方式，也对烤烟钾素吸收有一定影响，通过秸秆还田后土壤的供钾能力远高于秸秆不还田的土壤[26]，本研究两年试验结果表明，秸秆还田后烤烟钾素吸收总量与 NPK 处理相比虽无显著增加，但在大量减少化学钾肥投入前提条件下，烤烟钾素吸收总量并未显著降低，说明秸秆还田在通过秸秆补充钾素的同时，也增强了土壤的供钾能力。秸秆还田替代化学钾肥，化学钾肥不足的部分可用秸秆钾进行补充，秸秆腐解后，可释放大量速效钾养分供作物使用[27−29]，对秸秆进行腐熟后更有利于促进秸秆钾的快速释放补充土壤钾养分[30−31]，本试验中，秸秆还田处理钾肥利用率均高于不采用秸秆还田的 NPK 处理，相同化学钾肥替代量条件下，秸秆腐熟后还田处理的钾肥利用率比秸秆直接还田处理在 2019 年分别高出 0.2%、1.6% 和 1.8%，2020 年分别高出 0.7%、1.4% 和 5.2%。在连续长期秸秆还田条件下，可明显改善土壤钾素供应能力，提高钾肥利用效率[32]，本试验中秸秆直接还田减施钾肥 15% ~ 45% 时，各处理钾肥利用率比 2020 年比 2019 年分别高出 2.5%、3.2% 和 1.2%，秸秆腐熟还田减施化肥 15% ~ 45% 的各处理钾肥利用率比上一年分别高出 3%、1.4% 和 4.6%。试验表明，利用秸秆还田替代化学钾肥在 15% ~ 45% 时，随钾肥替代量的增加，烤烟钾肥利用率呈增高趋势，秸秆腐熟后还田的钾肥利用率高于不腐熟还田处理，随还田周期的增长，钾肥利用率逐渐增高。

土壤钾素养分平衡代表土壤钾素的丰缺[33]，相关研究表明，秸秆还田可以补充土壤中亏缺的钾素养分，对因作物吸收导致的土壤钾养分亏缺进行调节[34−36]，本研究得出，利用秸秆还田减施化学钾肥 15 ~ 30% 时，钾素盈余均显著高于秸秆不还田的 NPK 处理，钾平衡系数和钾平衡率也高于该处理，说明在该替代量下，秸秆腐解释放的钾素对土壤钾的消耗进行了大量补充，当替代量增加到 55% 时，与 NPK 处理相比，有所下降，但土壤钾仍处于盈余状态。

4 结论

（1）利用油菜秸秆直接还田和腐熟还田两种方式进行还田并减施化学钾肥，两年连续还田减施化学钾肥 15% ~ 45%，均未对烤烟产量和产值产生负显著效应，其中腐熟秸秆还田更有利于促进烟叶外观质量的改善和产值的提高；（2）秸秆直接还田在减施化学钾肥 15% ~ 30%，烤烟钾素吸收总量未显著降低，采用秸秆腐熟还田在减施化学钾肥 15% ~ 45%，烤烟钾素吸收总量均未显著降低，两种还田方式下，减施化学钾肥 15% ~ 45%，钾肥利用率均高于常规 NPK 施肥处理，同等减施量下，腐熟秸秆还田处理钾肥利用率高于秸秆直接还田处理；（3）通过秸秆还田减施化学钾肥 15% ~ 30%，土壤钾素盈余仍高于全量施钾处理，当减施量增加到 45% 时，与对照处理相比有所下降，但土壤钾仍处于盈余状态。综上，针对油菜—烤烟轮作模式下，采用油菜秸秆直接还田和腐熟还田，均可减少烤烟季化学钾肥投入量 30%，腐熟还田效果要优于直接还田；通过长期连续的秸秆还田，烤烟化学钾肥的施用量还可进一步减少。

参考文献：

[1] 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.

[2] 庾莉萍. 世界钾肥生产垄断局面及供应紧张形势[J]. 磷肥与复肥, 2009, 24(1): 18 − 20.

[3] 吕大树, 李子绅, 郭 泽, 等. 分次施用钾肥及配套措施对烤烟生长发育及其产质量的影响[J]. 中国农业科技导报, 2020, 22(1): 116 − 123.

[4] 郇威威, 王一柳, 卢殿君, 等. 高钾用量和根区施肥可提升皖南不同质地土壤烟叶钾含量[J]. 土壤, 2019, 51(3): 458 − 464.

[5] 张 翔, 索炎炎, 毛家伟, 等. 钾用量与灌溉方式互作对土壤-烤烟系统钾素及烟叶品质的影响[J]. 土壤通报, 2017, 48(3): 669 − 675.

[6] 张嫄嫄, 苏新宏, 何 雷, 等. 我国烤烟生产区域布局的变迁及其成因分析[J]. 河南科学, 2017, 35(3): 486 − 493.

[7] 彭 莹, 李海林, 田 峰, 等. 油菜秸秆覆盖还田对烤烟生长和产质量的影响[J]. 作物研究, 2015, (6): 622 − 625.

[8] 唐保国, 陶诗顺, 张荣萍, 等. 油菜秸秆全量还田减钾栽培对杂交稻分蘖及产量的影响[J]. 河南农业科学, 2017, 46(3): 29 − 33.

[9] 陈 华, 付利波, 赵凯琴, 等. 油烟轮作区不同土壤类型油菜对氮钾养分利用效率研究[J]. 西南农业学报, 2020, 33(9): 1911 − 1916.

[10] 刘禹池, 曾祥忠, 冯文强, 等. 稻—油轮作下长期秸秆还田与施肥对作物产量和土壤理化性状的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2014, 20(6): 1450 − 1459.

[11] 熊桂桃, 邓宗玲. 水稻—油菜轮作模式下秸秆还田替代钾肥的效应[J]. 农业与技术, 2018, 38(16): 9,11.

[12] 李继福, 薛欣欣, 李小坤, 等. 水稻—油菜轮作模式下秸秆还田替代钾肥的效应[J]. 植物营养与肥料学报, 2016, 22(2): 317 − 325.

[13] 肖小军, 余跑兰, 郑 伟, 等. 油菜秸秆还田配施石灰对红壤稻田早稻产量及土壤特性的影响[J]. 作物研究, 2021, 35(1): 8 − 13,21.

[14] 黄乙琼, 刘 蓉, 赵长坤, 等. 油菜秸秆还田对土壤养分供应的影响[J]. 湖北农业科学, 2020, 59(20): 51 − 55,87.

[15] 王 鑫, 李恩泽, 程芳琴. 国内外钾资源及钾肥生产现状[J]. 广州化工, 2018, 46(14): 9 − 10.

[16] 郭 军, 靳志丽, 梁文旭, 等. 富钾饼肥对烤烟叶绿素荧光参数及烟叶内在品质的影响[J]. 作物研究, 2017, 31(6): 685 − 690.

[17] 郑宪滨, 曹一平, 张福锁, 等. 不同供钾水平下烤烟体内钾的循环、累积和分配[J]. 植物营养与肥料学报, 2000, (2): 166 − 172.

[18] 林 志, 曾惠宇, 何永秋, 等. 秸秆还田对烤烟生长发育的影响[J]. 现代农业科技, 2020, (22): 1 − 3 + 8.

[19] 芦伟龙, 董建新, 宋文静, 等. 土壤深耕与秸秆还田对土壤物理性状及烟叶产质量的影响[J]. 中国烟草科学, 2019, 40(1): 25 − 32.

[20] 王子阳, 陈婉华, 袁 伟, 等. 长期秸秆还田与耕作方式对水稻产量及品质的影响[J]. 中国稻米, 2021, 27(3): 17 − 20 + 29.

[21] 吴裕如, 王 承, 艾亥麦提·艾麦尔江, 等. 油菜秸秆还田及氮肥减量对夏玉米生长发育及产量的影响[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2020, 46(6): 641 − 648.

[22] 任 杰, 朱 峰, 程 森, 等. 不同种类钾肥配施比例对烤烟产质量的影响[J]. 中国烟草科学, 2018, 39(4): 58 − 63.

[23] 王金星, 李高坡, 符云鹏, 等. 黄腐酸钾对云烟87烤烟产质量的影响[J]. 山东农业科学, 2017, 49(6): 83 − 87.

[24] 汤 宏, 李向阳, 王建伟, 等. 施钾量对烤烟品质及钾吸收利用的影响[J]. 江西农业学报, 2020, 32(2): 86 − 91.

[25] 蒋雨洲, 张吉立, 李 洋, 等. 不同钾肥追施量对烤烟钾吸收与烟叶钾含量的影响[J]. 江苏农业科学, 2014, 42(9): 98 − 100.

[26] 李长洲, 袁国印, 王一柳, 等. 秸秆还田配施钾肥对水稻产量与钾素吸收的影响[J]. 江苏农业科学, 2021, 49(2): 43 − 47.

[27] 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.

[28] 张舒予, 金梦灿, 马 超, 等. 秸秆还田配施腐熟剂对水稻产量及钾肥利用率的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2018, (1): 49 − 55.

[29] 吴传胜, 王优旭, 李秀珍, 等. 秸秆还田中稻基施钾肥减量效果研究[J]. 安徽农业科学, 2017, 45(14): 95 − 97.

[30] 陈云峰, 夏贤格, 杨 利, 等. 秸秆还田是秸秆资源化利用的现实途径[J]. 中国土壤与肥料, 2020, (6): 299 − 307.

[31] 油宏康. 秸秆腐熟还田技术在小麦生产上的应用效果[J]. 现代农业科技, 2019, (16): 6 − 7.

[32] 程文龙, 韩 上, 武 际, 等. 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[J]. 中国土壤与肥料, 2019, (5): 72 − 78.

[33] 冀宏杰, 张怀志, 张维理, 等. 我国农田土壤钾平衡研究进展与展望[J]. 中国生态农业学报, 2017, 25(6): 920 − 930.

[34] 盛　婧, 刘红江, 孙国峰, 等. 不同钾吸收类型小麦品种(系)秸秆还田对农田钾素平衡的影响[J]. 麦类作物学报, 2016, 36(12): 1643 − 1650.

[35] 戴志刚, 鲁剑巍, 余宗波, 等. 不同耕作模式下秸秆还田对作物产量及田间养分平衡的影响[J]. 中国农技推广, 2011, 27(12): 39 − 41.

[36] 韩宝文, 邢　竹, 郭建华, 等. 冬小麦—夏玉米轮作中的施钾效应及钾素平衡[J]. 河北农业科学, 2004, (3): 25 − 27.

Effects of Rape Straw Returning Method and Reduction of Potassium Fertilizer on Potassium Use Efficiency of Tobacco in Tobacco-rape Rotation

ZHAO Wen-jun[1], XUE Kai-zheng[1], YIN Mei[2], HU Bao-wen[1], WANG Zheng-xu[1], WANG Zhi-yuan[2], FU Li-bo[2], CHEN Jian-feng[2], WANG Wei[2], YANG Yan-xian[2], WANG Ying-xue[2], HE Zheng-hai[3], CHEN Hua[2*]

(1. *Raw Material Department*, *Hongta Tobacco (Group) Co.*, *Ltd*, *Yuxi*, 653100, *China*; 2. *Institute of Agricultural Environment and Resources*, *Yunnan Academy of Agricultural Sciences*, *Kunming* 650205, *China*; 3. *Agricultural Mechanization Technology Promotion Station of Funing County*, *Funing* 663400, *China*)

Abstract: [Objective] Effects of straw returning on potentiality of potassium (K) fertilizer reduction and K use efficiency of tobacco were studied under a tobacco-rape rotation. The results would provide theoretical basis and technology reference for straw unitization and reduction of K fertilizer in this rotation. **[Method]** A located field experiment was carried out under a tobacco-rape rotation. K326 tobacco variety and rape straw were used as experimental materials. Eight different treatments of straw direct returning (S) and decomposed straw returning (DS) were designed: (1) NP; (2) NPK(CK); (3) NP + 85%K + S; (4) NP + 70%K + S; (5) NP + 55%K + S; (6) NP + 85%K + DS; (7) NP + 70%K + DS; (8) NP + 55%K + DS. Yield, output value, K absorption, K use efficiency of tobacco and K balance in soil were studied. **[Result]** The results showed that output value of tobacco with the treatment of decomposed straw returning + reduction 30% K fertilizer(NP + 70%K + DS) was the highest in all treatments. Output value of tobacco with the treatment was 78662 yuan hm^{-2} in 2018 and 81071 yuan hm^{-2} in 2019. Potassium absorptions of tobacco in treatments with decomposed straw returning were higher than these with straw direct returning. Potassium absorptions of tobacco with NP + 70%K + S treatment was the highest in all treatments. Potassium use efficiency of tobacco with the treatment of continuous straw returning was improved. Potassium use efficiency of tobacco with the treatment of decomposed straw returning was higher than that with the treatment of straw direct returning. Surplus K in soil with treatments of reduction 15%-30% K fertilizer were more than that with CK. Surplus K in soil with the treatment of reduction 15% K fertilizer was the highest in all treatments. **[Conclusion]** The results showed that 30% K fertilizer can be reduced with tobacco season under tobacco-rape rotation with the decomposed straw returning or straw direct returning pattern. Yield, output value, K use efficiency of tobacco with decomposed straw returning were better than those with straw direct returning.

Key words: Rape; Tobacco; Rotation; Output value; Potassium use efficiency; Potassium balance

[责任编辑：刘轶飞]