

# 施肥和秸秆还田对土壤肥力质量及 春小麦品质的影响

张亚丽<sup>1,3</sup>, 吕家珑<sup>1\*</sup>, 金继运<sup>2</sup>, 李书田<sup>2</sup>, 陈占全<sup>3</sup>, 高旭升<sup>3</sup>

(1 西北农林科技大学资源环境学院, 陕西杨凌 712100; 2 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所, 北京 100081;  
3 青海省农林科学院土壤肥料研究所, 青海西宁 810016)

**摘要:** 通过在青海省河湟灌区栗钙土上连续 19 年的春小麦连作长期定位试验, 研究了施用化肥与秸秆还田对土壤肥力质量及春小麦产量、品质的影响。结果表明, 在施氮、磷化肥的基础上增施钾肥和或秸秆还田可降低土壤容重 1.2%~7.1%, 提高土壤含水量 4.7%~13.5%, 增加土壤 >0.25 mm 团聚体的数量, 促进团聚体的稳定性; 对土壤轻组有机质、有机质、土壤氮、磷、钾养分含量的提高也有明显的作用, 尤其是提高土壤速效钾含量最高达 2.6 倍; 对春小麦产量和品质也有一定的维持和促进作用。在施氮、磷的基础上增施适量无机钾肥或秸秆还田能够改善农田土壤肥力及质量状况, 稳定和提高春小麦产量和品质。考虑矿质钾肥成本较高和资源有效利用, 当地农业生产在氮、磷肥基础上半量秸秆还田可以替代无机钾肥。

**关键词:** 长期定位试验; 秸秆还田; 土壤质量

中图分类号: S158.3; S152.1<sup>+</sup>2 文献标识码: A 文章编号: 1008-505X(2012)02-0307-08

## Effects of chemical fertilizer and straw return on soil fertility and spring wheat quality

ZHANG Ya-li<sup>1,3</sup>, LÜ Jia-long<sup>1\*</sup>, JIN Ji-yun<sup>2</sup>, LI Shu-tian<sup>2</sup>, CHEN Zhan-quan<sup>3</sup>, GAO Xu-sheng<sup>3</sup>

(1 College of Resource and Environment Science, Northwestern University of A & F, Yangling, Shaanxi 710021, China;  
2 Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China;  
3 Soil and Fertilizer Institute, Qinghai Academy of Agriculture and Forest Sciences, Xining 810016, China)

**Abstract:** A long-term field experiment was conducted for 19 years to investigate the effects of chemical fertilizer and wheat straw return on soil fertility and quality of grain in spring wheat continuous cropping system on castanozems soil in Hehuang irrigation region of Qinghai province. The results show that compared with the control treatment, soil bulk densities and soil water contents are decreased by 1.2%–7.1% and 4.7%–13.5% under the N and P chemical fertilization combined with potash addition fertilization and/or straw return treatments, and the contents of soil water-stable aggregate (>0.25 mm) are increased and stability of soil aggregate is improved. Regard to improving soil physical properties, the straw return is superior to the chemical N, P and K fertilization. The light fraction of soil organic matter, soil total organic matter, soil N, P and K contents are increased as well, especially soil available K content which reaches to 279.5 mg/kg in the NPK + 100% ST treatment and is about 2.6 times of the control treatment. The yield of spring wheat is also increased under the chemical N, P and K fertilization treatment combined with straw and chemical fertilizer. On base of the N and P fertilization, straw return and/or potash addition treatments except for the NPK + 100% ST treatment improve protein content of wheat seed and have no negative effects on grain quality. In conclusion, suitable amounts of potash and/or straw application with chemical N and P fertilization can improve soil fertility and spring wheat yield and quality, and half amount of

收稿日期: 2011-06-26 接受日期: 2011-12-22

基金项目: 中国-加拿大合作 IPNI 项目(NMBF-Qinghai-2010)资助。

作者简介: 张亚丽(1979—), 女, 陕西扶风人, 在读硕士, 助研, 主要从事土壤资源环境方面的研究。E-mail: ylzhang@ipni.ac.cn

\* 通讯作者 Tel: 029-87080051, E-mail: ljll@nwsuaf.edu.cn

straw return can replace potash application in local agricultural practice.

**Key words:** long term field test; straw return; soil quality

青海省东部河湟灌区是全省主要的粮食产区,该区水肥条件相对较好,农田土壤生产力有很大的提升空间。但受“缺氮、少磷、钾丰富”的传统认识的影响,该区农业生产长期以来偏向于施用氮肥和磷肥,盲目施肥不仅导致了肥料的浪费以及农田土壤养分供应不平衡,长此以往还将造成土壤钾素的亏缺从而限制作物产量和品质的提高,而且更严重的是土壤肥力持续性受到破坏,土壤质量下降。加之近年来高产、超高产的农业生产需求压力对农田土壤地力的耗竭加剧,造成农田生态系统日益脆弱,出现了稍不施肥或施肥不当就会减产,以及农业生产受自然灾害的影响愈来愈严重、频繁的现象。为此有必要对已经连续开展 19 年的春小麦肥力定位试验进行深入研究,充分挖掘其蕴藏的信息,阐释施肥等外界条件对土壤质量的影响及其规律<sup>[1-2]</sup>,从而为粮食安全生产提供依据。国内外对长期肥力定位试验的研究报道很多,之前的研究多集中在土壤肥力本身<sup>[3-5]</sup>,而土壤质量、化肥与粮食安全、长期定位试验的生态环境效益的研究目前已为众多学者关注<sup>[6-8]</sup>,这些研究及其成果为本文的研究提供了思路和宝贵经验,鉴于青藏高原长期肥力定位试验的研究报道甚少,因此本文对连续开展第 19 年的春小麦施肥和秸秆还田定位试验进行研究,探讨土壤肥力质量变化及对春小麦品质的影响,试图为该区农业生产中科学施肥,提升土壤肥力和质量提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

该定位试验于 1992 年设立,位于西宁市北郊二十里铺农科院试验园(E 101°49'17", N 36°34'03"),海拔高度 2360 m。气候类型属典型半干旱大陆性气候,年降水量 368.2 mm,年均气温 5.7℃,日照时数为 2762 h, >10℃积温为 2037.3℃, >0℃积温为 2749.5℃,无霜期 130 d。土壤类型为栗钙土,属第四纪黄土母质,质地为中壤。耕作制度为一年一熟制,小麦收获后人工翻耕冬灌休闲,至翌年春季再行播种。试验初始土壤理化性状为 pH 7.6,阳离子交换量 13.8 cmol/kg,有机质含量 18.3 g/kg,全氮 1.27 g/kg,铵态氮 33.8 mg/kg,硝态氮 42.6 mg/kg,速效磷 90.4 mg/kg,速效钾 177.3 mg/kg。

### 1.2 试验设计

试验设 6 个处理(表 2): NP、NP + 50% ST(秸秆还田)、NP + 100% ST、NPK、NPK + 50% ST、NPK + 100% ST,每个处理 4 次重复,小区面积 25m<sup>2</sup>,完全随机区组排列。磷肥、钾肥和 70% 氮肥在播前作为基肥施入,30% 氮肥于拔节期追施;秸秆还田处理分 50% ST(半还)和 100% ST(全还),半还、全还是指小麦按小区脱粒后一半或全部秸秆经粉碎约 10 cm 长度均匀撒施该小区,然后人工翻埋。供试春小麦品种 2006 年以前为“青春 323”,由于同一品种长期种植产生退化现象,2007 年更换为“青春 40”新品种。

表 1 春小麦长期定位试验各处理化肥施用量  
Table 1 Fertilization plan of the long-term experiment

处理 Treatment	N (kg/hm <sup>2</sup> )	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg/hm <sup>2</sup> )	K <sub>2</sub> O (kg/hm <sup>2</sup> )
NP	110	55.2	0
NP + 50% ST	110	55.2	0
NP + 100% ST	110	55.2	0
NPK	110	55.2	150
NPK + 50% ST	110	55.2	150
NPK + 100% ST	110	55.2	150

注(Note):氮、磷肥料用量为 2002 年至今的施肥量,1993 ~ 2001 年施肥量 N 147 kg/hm<sup>2</sup>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 73.5 kg/hm<sup>2</sup>, K<sub>2</sub>O 用量一直未变化 The N and P chemical fertilization amounts in the table were applied from 2002 to now, they were N 147 kg/ha and P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 73.5 kg/ha, respectively from 1993 to 2001, and the potash application amount is stable all the year.

### 1.3 分析及测定方法

1.3.1 土壤物理性质的测定 2010 年 8 月初小麦收获后用环刀法测定各小区 0—20 cm 耕层土壤容重和含水量;用改进的约得尔法(Yoder)—人工筛法测定土壤团聚体;用平均重量直径(MWD)评价团聚体的稳定性,其计算方法参见文献[9]。

1.3.2 土壤化学性质 2010 年 8 月采集土壤样品,风干,过筛后备用。土壤有机质分组(轻组 LFOC、重组 HFOC)用密度浮选法测定<sup>[10-11]</sup>:即称取 10.0 g 过 2 mm 筛的风干土,放入 150 mL 离心试管中,加入密度为 1.7 g/cm<sup>3</sup> 的 NaI 重液 50 mL,在 100

r/min的振荡机上振荡 10 min 后在 4000 r/min 下离心 15 min,将上清液倒入附 0.45  $\mu\text{m}$  滤膜的砂芯漏斗上抽滤,并用 0.01 mol/L  $\text{CaCl}_2$  溶液 100 mL 洗涤,再用 200 mL 蒸馏水洗涤,滤纸上的物质即为轻组部分。以上步骤重复操作 3 次,所得样品离心管中剩余部分为重组部分,重组和轻组部分分别在 60 $^\circ\text{C}$  下烘干至恒重后称重。耕层土壤有机质、全氮、全磷和全钾以及速效氮、磷、钾含量均用常规方法进行测定。

1.3.3 植株养分及小麦品质的测定 小麦秸秆、子粒中的氮、磷、钾含量以及小麦面粉粗蛋白、湿面筋、淀粉含量均采用常规分析方法测定。

试验结果用 Excel、SPSS 等软件进行统计分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 长期施肥和秸秆还田对土壤物理性质的影响

2.1.1 对土壤团聚体及其稳定性的影响 土壤团聚体及其稳定性影响土壤物理、生物、化学等过程,作为土壤的物理特性之一也是评价土壤质量的重要指标<sup>[12]</sup>。团粒结构是土壤中最好的结构体,其数量与土壤肥力状况呈正相关<sup>[13-14]</sup>。本试验中不同处理耕层土壤大于 0.25 mm 团聚体数量( $R_{0.25}$ )的测定结果(表 2)表明,干筛法  $R_{0.25}$  均在 81.12% ~ 84.08% 之间,平均重量直径(MWD)值在 1.77 ~ 1.84 之间,远大于湿筛法,但干筛法各处理之间差异不显著。由于干筛法  $R_{0.25}$  的最低值 81.12% 远大于湿筛法  $R_{0.25}$  的最高值 13.92% 可以看出,该土壤的团聚体大部分为非水稳性团聚体,水稳性团聚体的数量较少。

由于用湿筛法测得的水稳性团聚体数量更能反映土壤结构的稳定性,因而比非稳性团聚体更为重要。由表 2 还可看出,水稳性团聚体不同处理间差异显著,其中 NPK + 100% ST 处理的  $R_{0.25}$  和 MWD 比 NPK 处理分别增加了 1.08 倍和 0.5 倍,NPK + 50% ST 处理也明显高于 NPK 处理;NP + 100% ST、NP + 50% ST 处理比 NP 处理  $R_{0.25}$  分别提高了 48.1%、33.4%,MWD 也分别提高了 20%、60%;而 NPK + 100% ST 处理比 NP + 100% ST 处理  $R_{0.25}$  和 MWD 分别提高 37.2%、50%,NPK + 50% ST 也比 NP + 50% ST 处理  $R_{0.25}$  提高 63.6%,但 MWD 值略低;NPK 处理  $R_{0.25}$  低于 NP 处理,但 MWD 高于 NP 处理 20%。由此说明,单施化肥对提高团粒结构的比例和增加团聚体稳定性作用不大;化肥与秸秆还

表 2 长期施肥和秸秆还田下土壤 >0.25 mm 团聚体数量及平均重量直径(MWD)

Table 2 Effects of the fertilizations and straw return on soil aggregates quantity and mean weight-diameter (MWD)

处理 Treatment	干筛法 Dry sieved		湿筛法 Wet sieved	
	$R_{0.25}$ (%)	MWD (mm)	$R_{0.25}$ (%)	MWD (mm)
NP	83.19 a	1.84 a	6.38 c	0.05 a
NP + 50% ST	81.86 a	1.82 a	8.51 bc	0.08 a
NP + 100% ST	82.92 a	1.84 a	9.45 abc	0.06 a
NPK	81.12 a	1.79 a	6.23 c	0.06 a
NPK + 50% ST	83.83 a	1.82 a	13.92 a	0.07 a
NPK + 100% ST	84.08 a	1.77 a	12.97 ab	0.09 a

注(Note):  $R_{0.25}$ —大于 0.25 mm 的团聚体 The soil aggregates of  $R > 0.25$  mm. 同列数据后不同小写字母表示处理间差异达 5% 显著水平 Values followed by different letters in a column are significant between treatments at the 5% level.

田配合能够显著增加土壤团粒结构的比例和土壤团聚体稳定性,且增施无机钾肥与秸秆还田配合增加的幅度更大。秸秆还田能够增加土壤团粒结构及其稳定性的原因是其增加了土壤有机质,姜灿烂<sup>[15]</sup>等人结合国外相关研究指出,有机质不是大团聚体稳定性高低的直接原因,大团聚体的稳定性也许更依赖于其主要颗粒组成和有机质的化学特性及与不同矿物颗粒的排列情况。本试验结果中氮磷钾化肥与秸秆还田配合施用可能改变土壤有机质的化学性质使得大团聚体数量增多。

2.1.2 对土壤容重和水分含量的影响 土壤容重可以概括地反映土壤质地、结构状况以及腐殖质含量的高低,是土壤肥力的一个重要物理指标,而土壤含水量则决定了土壤的宜耕性,并与作物的正常生长发育紧密相关。2010 年试验收获后耕层土壤容重、含水量不同处理间存在显著差异(表 3)。各处理土壤容重在 1.31 ~ 1.41  $\text{g}/\text{cm}^3$  之间,其中 NP + 100% ST 处理容重最低,为 1.31  $\text{g}/\text{cm}^3$ ,比对照下降了 7.1%;秸秆还田处理均较无还田处理土壤容重降低,全部还田降低幅度大于一半还田处理;增施钾肥(NPK 处理)后土壤容重也较对照降低,但增施钾肥并秸秆还田处理土壤容重降低的幅度小于未增施钾肥并秸秆还田的处理。秸秆还田和增施钾肥提高了土壤含水量。秸秆还田处理较无还田处理土壤含水量提高了 4.7% ~ 13.5%;除 NPK + 100% ST 处理比

NP + 100% ST 处理略有降低外,施钾处理比未施钾处理提高了 2.1% ~ 5.2%。该结果充分证明秸秆还田直接补充了土壤有机质,而适量增施无机钾肥,

促使土壤养分平衡从而增加了作物根系生物量,间接增加土壤有机质含量,使得二者对改善土壤结构、增强蓄肥蓄水能力有明显作用。

表3 不同处理土壤容重、含水量变化

Table 3 Effects of the fertilizations and straw return on soil bulk density and water content

处理 Treatment	容重 (g/cm <sup>3</sup> ) Soil bulk density	较无还田降低 (%) Decrease	含水量 (%) Soil water content	较无还田提高 (%) Increase
NP	1.41 a	—	21.2 c	—
NP + 50% ST	1.35 ab	4.5	22.9 ab	8.3
NP + 100% ST	1.31 b	7.1	24.0 a	13.5
NPK	1.38 ab	—	22.3 bc	—
NPK + 50% ST	1.37 ab	1.2	23.4 ab	4.7
NPK + 100% ST	1.34 ab	2.7	23.4 ab	4.7

注(Notes): 同列数据后不同小写字母表示处理间差异达 5% 显著水平 Values followed by different letters in a column are significant between treatments at the 5% level.

## 2.2 长期施肥和秸秆还田对土壤肥力及养分生物有效性的影响

### 2.2.1 对土壤轻组有机质含量的影响

土壤有机质是土壤质量和健康的重要指标<sup>[16]</sup>。根据密度的大小可将土壤有机质分为轻组(LF)和重组(HF),由于轻组有机质主要由可识别的不同分解阶段的动、植物残体、微生物的残骸以及一些吸附在碎屑上的矿质颗粒组成,虽然只占土壤质量的很小部分,但碳、氮含量高,具有很强的生物学活性,代表着易变土壤有机质的主要部分,在碳和氮循环中具有显著的作用,被认为是土壤生物调节过程的重要基质和土壤肥力的指标,是土壤质量的一个重要属性。且有研究表明施肥通常有利于轻组的积累<sup>[17]</sup>,而秸秆还田作为一种补充土壤有机质的方式,很可能对土壤轻组有机质产生影响。

试验结果(图1)表明,在施化肥基础上秸秆还田各处理均比各自无还田处理轻组有机质含量显著提高,轻组有机质含量随着秸秆还田量的增加而增加。其中 NP + 100% ST 处理轻组有机质含量最高,达到了 0.73%,比 NP 处理提高了 46.7%, NPK + 100% ST 处理比 NPK 处理提高了 48.6%,表明秸秆还田对于提高土壤轻组有机质有很大贡献。钾素有促进土壤有机质分解,改变土壤结构的作用<sup>[18]</sup>,作为土壤有机质中易变组分的轻组有机质,更容易受施矿质钾肥而加速分解导致含量降低,因此,施钾处理轻组有机质含量低于未施钾处理。该结果为一年测定结果,应继续进行多年测定,加以验证。

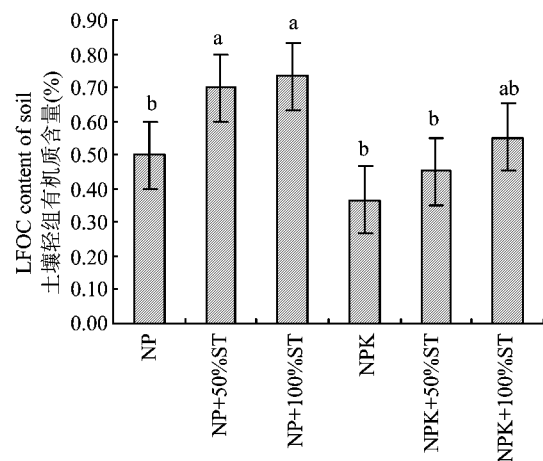


图1 长期施肥和秸秆还田对土壤轻组有机质含量的影响(2010年)

Fig.1 Effects of different fertilizations and straw return on light fraction of soil organic matter (LFOC) in 2010

[注(Notes): 柱上不同字母分别表示处理间差异达 5% 显著水平 Different letters above the bars mean significant at the 5% level.]

### 2.2.2 对土壤养分的影响

与试验初始相比,经过 19 年长期施肥和秸秆还田后,土壤养分含量除速效磷下降外,其他养分含量均有不同程度的增加。2010 年试验收获后土壤各养分含量不同处理间达到显著差异水平(图2)。NP、NPK 处理有机质含量较低,秸秆还田和增施钾肥并秸秆还田处理均较高,比 NP 处理提高了 9.3% ~ 18.7%,在氮磷(NP)基础上增施钾肥,土壤有机质增加了 0.8%,说明在施化肥基础上进行秸秆还田对土壤有机质的提升有重

要意义,增施钾肥也有助于提高土壤有机质含量,但提高的效果没有秸秆还田明显。速效氮、磷含量均表现出秸秆还田处理高于未还田处理,且基本上都随着秸秆还田量的增加而增加。不同之处在于,速效氮含量在增施钾肥处理中高于未施钾处理,而速效磷含量在增施钾肥处理中反而低于未施钾对照。全氮、全磷变化较小,但不同处理间仍有差异,表现出与速效氮、磷较为相似的规律。全钾和速效钾含量随着秸秆还田量和施钾的增加而逐渐增加,但全钾含量的增幅较小,而速效钾的增幅明显较大,二者均在 NPK + 100% ST 处理达到最高含量,比对照分别增加了 5.95% 和 260.6%。以上结果表明,在氮、

磷肥的基础上进行秸秆还田能够明显增加土壤有机质、速效氮、磷、钾及全量氮、磷、钾的含量;氮磷钾与秸秆还田配合施用能提高土壤氮、钾养分含量,对土壤速效钾含量的提高尤为显著;秸秆还田与氮磷钾肥配合较之与氮磷肥配合,对土壤养分提高的幅度不大,某些养分甚至有所降低。秸秆还田能够提高土壤养分的原因主要是经腐解的秸秆为土壤提供了丰富的碳、氮、磷、钾等营养<sup>[19]</sup>,增加有机质促进了土壤微生物和酶的活动,使氮、磷、钾等养分释放,有效性增强;该试验结果中土壤钾素含量随施钾和秸秆还田量的增加而明显增加与相关研究结果<sup>[20-21]</sup>一致。

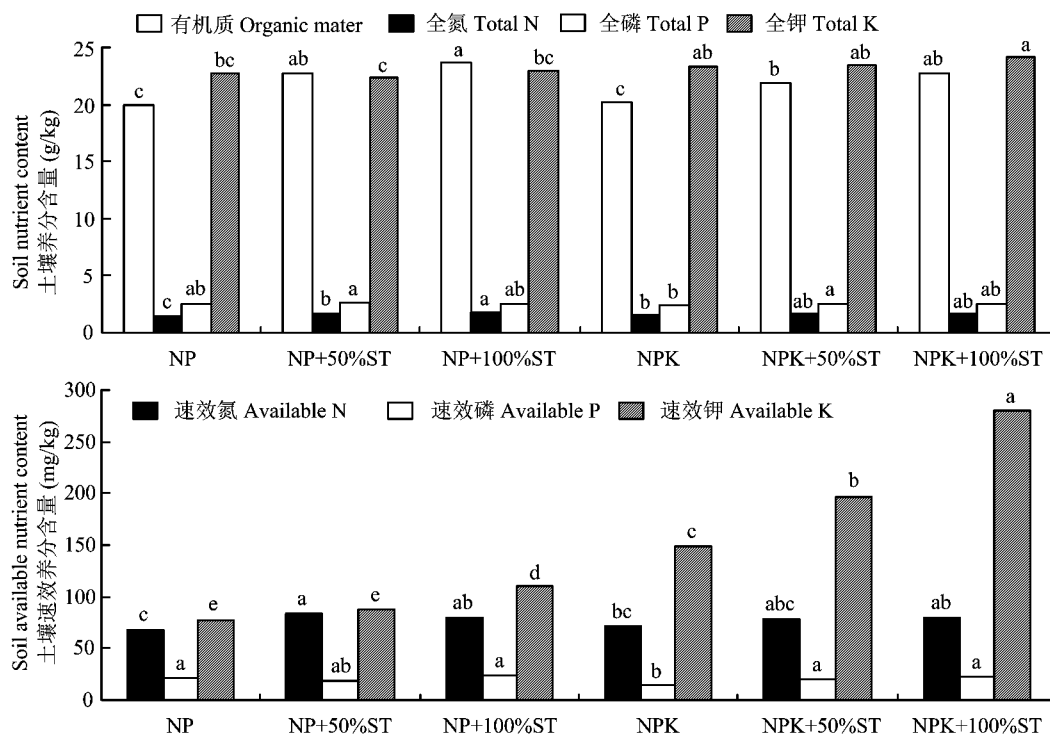


图2 长期施肥和秸秆还田对土壤养分的影响(2010年)

Fig. 2 Effects of the long-term fertilizations and straw return on soil nutrient content in 2010

[注 (Note): 柱上不同字母分别表示处理间差异达 5% 显著水平 Different letters above the bars mean significant at the 5% level.]

2.2.3 对春小麦产量及养分吸收的影响 从产量和经济效益分析(表 4)可以看出,NPK 处理增产效果优于其他处理;NP + 50% ST 处理与 NPK 处理产量差异不大,但产投比较高,NP + 100% ST 处理与 NPK + 50% ST 处理产量处于相同差异水平,但前者产投比高,该结果说明在施氮、磷化肥的基础上,增施无机钾肥和或秸秆还田均能增加小麦产量。该定位试验往年的产量结果也表现出这种规律<sup>[22]</sup>。相比较而言,在增施无机钾肥时半量秸秆还田多年累计产量高于全量秸秆还田,未施无机钾肥时半量秸

秆还田的增产作用等同于增施无机钾肥,且具较高的经济效益,因此提出本试验条件下半量秸秆还田能够替代无机钾肥的推想。由于秸秆中钾含量较高,长期直接秸秆还田使作物携走的钾归还到土壤中,等于向土壤补充了钾,在当地土壤条件下,似乎秸秆还田与氮、磷配合正好达到了土壤的养分平衡,积累了一定的有机质,改善了土壤物理、化学性质而使产量增加。Blake 等<sup>[23]</sup>的研究也指出,土壤缺氮、磷、镁会降低矿质钾肥的生物有效性,增加耕层钾素淋溶损失。当矿质钾肥与有机农肥结合施

表 4 2010 年春小麦定位试验产量及经济效益分析

Table 4 Effects of different fertilizations and straw return on spring wheat yield and economic benefit

处理 Treatment	平均产量 Mean yield (kg/hm <sup>2</sup> )	产值 Output value (yuan/hm <sup>2</sup> )	肥料投入 Fertilizer input (yuan/hm <sup>2</sup> )	纯收益 Wet output value (yuan/hm <sup>2</sup> )	产投比 Ratio of output to input (%)
NP	5240 ab	10480	818	9662	11.8
NP + 50% ST	5618 a	11236	818	10418	12.7
NP + 100% ST	5361 a	10722	818	9904	12.1
NPK	5625 a	11250	1818.5	9432	5.2
NPK + 50% ST	5381 a	10762	1818.5	8944	4.9
NPK + 100% ST	4815 b	9630	1818.5	7812	4.3

注 (Note): 同列数据后不同小写字母表示处理间差异达 5% 显著水平 Values followed by different letters in a column are significant between treatments at the 5% level. 肥料价格按纯 N 4.3 元/kg、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 6.25 元/kg、K<sub>2</sub>O 6.67 元/kg 计, 小麦价格按 2.0 元/kg 计 Chemical fertilizer price are N 4.3 yuan/kg, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 6.25 yuan/kg, K<sub>2</sub>O 6.67 yuan/kg, respectively, and wheat price is 2.0 yuan/kg.

用时, 其有效性因有机农肥中含有更适宜作物生长的钾素而下降。因此, 本试验结果中全量秸秆还田并增施钾肥使产量有所下降, 原因与此有关。

从各处理茎秆、子粒的氮、磷、钾养分吸收量可以看出(图 3), 春小麦对养分的吸收量为 钾 > 氮 > 磷, 其中对氮的吸收量为 N 153.6 ~ 182.6 kg/hm<sup>2</sup>, 对 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 的吸收量为 51.1 ~ 58.3 kg/hm<sup>2</sup>, 对 K<sub>2</sub>O 的吸收量为 179.7 ~ 241.9 kg/hm<sup>2</sup>。各处理小麦对氮、磷的吸收呈现出一致的规律性。在不施钾的情况下, 秸秆还田处理的养分吸收量大于无秸秆还田处理, 但在施钾条件下, 秸秆还田处理的养分吸收量低于 NPK 处理; 在无秸秆还田时, 施钾处理的养分吸收量大于不施钾处理, 但在秸秆还田时, 施钾处理的养分吸收量低于不施钾处理。小麦对钾的表现出施钾处理均高于不施钾处理, 秸秆还田处理中

除 NPK + 100% ST 外均高于无还田处理。对三种养分的吸收, 无论施钾与否, 秸秆半量还田大于全量还田, 这与春小麦产量的结果有较为相似的规律。从养分吸收量来看, NPK、NPK + 50% ST、NP + 50% ST 处理养分吸收量较高, 也是这几个处理产量较高的主要原因。

### 2.3 长期施肥和秸秆还田对春小麦品质的影响

从表 5 可以看出, 各处理湿面筋、淀粉含量分别达到 26%、60% 以上, 达到中筋小麦品质要求, 并且处理间没有明显差异。各处理粗蛋白含量均达到 13% 以上, 并且处理间有一定差异, NP + 100% ST 处理蛋白质含量最高, 达到 14.48%, 比对照增加 5.2%, 差异显著, NPK + 50% ST、NP + 50% ST 处理粗蛋白含量次之, NPK + 100% ST 处理较低, 但之间差异不明显。虽然各品质指标达到中筋小麦标准

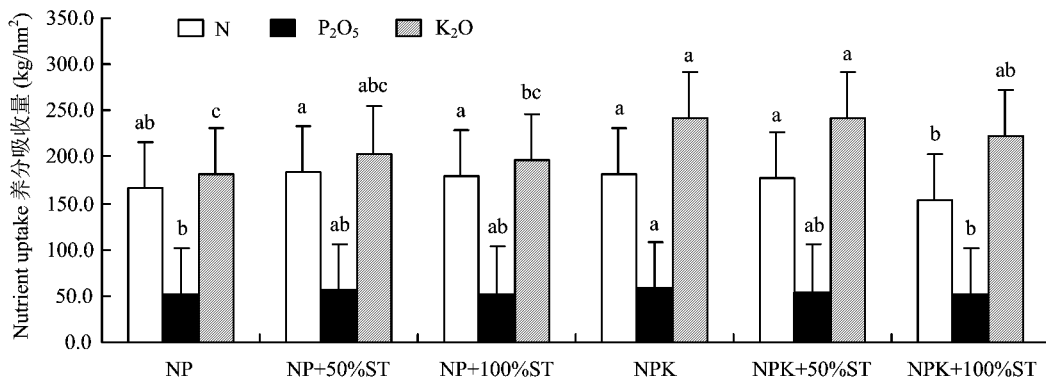


图 3 不同处理小麦养分吸收量

Fig. 3 Effects of the different fertilizations and straw return on nutrient uptakes of spring wheat

注 (Note): 柱上不同字母表示处理间差异达 5% 显著水平 Different letters above the bars mean significant among the treatments at the 5% level. ]

表5 施肥和秸秆还田对春小麦品质的影响(%)  
Table 5 Effects of the different fertilizations and straw return on seed quality of spring wheat

处理 Treatment	湿面筋 Wet gluten content	淀粉 Starch content	粗蛋白 Protein content
NP	26.78 a	66.24 a	13.76 b
NP + 50% ST	27.63 a	66.30 a	14.03 b
NP + 100% ST	28.18 a	65.78 a	14.48 a
NPK	26.87 a	65.41 a	13.88 b
NPK + 50% ST	28.55 a	65.13 a	14.12 ab
NPK + 100% ST	27.82 a	64.88 a	13.74 b

注( Note ): 同列数据后不同字母表示处理间差异达 5% 显著水平 Values followed by different letters in a column are significant between treatments at the 5% level.

与春小麦品种有很大关系,但不同施肥处理间粗蛋白含量仍存在一些差异说明适量施肥和秸秆还田对春小麦品质没有不良影响,且在一定程度上能够维持和提高品质。较早的研究报道显示,能使玉米、小麦蛋白质品质提高的施肥方法为:有机无机肥料配合施用 > 单施氮素化肥 > 单施有机肥<sup>[24]</sup>,本试验结果与该研究结论相似。

### 3 结论

1) 在施氮、磷的基础上增施一定量的钾肥和或秸秆还田,特别是秸秆还田,能够增加土壤团粒结构,提高土壤团粒结构的稳定性,增加土壤轻组有机质在土壤中的比例,同时能够降低土壤容重,提高土壤含水量,对土壤物理性状的改善明显。

2) 施肥和秸秆还田对土壤有机质、速效和全量氮、磷、钾养分含量的影响不同。在施氮、磷肥的基础上进行秸秆还田和或增施无机钾肥,能够增加除磷素以外的大部分土壤养分含量,对土壤速效钾含量的提高尤其显著;秸秆还田与 NP 配合较之与 NPK 肥配合,对土壤养分含量提高的幅度更大;但在氮、磷肥基础上长期增施钾肥并秸秆还田对于增加土壤钾库贮量意义重大。

3) 在施氮、磷的基础上增施无机钾肥春小麦增产效果最为明显,在氮、磷肥基础上秸秆还田也具有较为明显的增产效果,增产幅度大于与 NPK 配合,半量秸秆还田增产效果优于全量秸秆还田。考虑钾肥成本、投产比以及资源环境效益,提出在施

氮、磷肥的基础上半量秸秆还田可以替代无机钾肥。

4) 长期施肥和秸秆还田对春小麦品质没有负面影响,合理增施钾肥和秸秆还田能够维持和提高春小麦品质。

综上,秸秆还田和增施无机钾肥对于土壤肥力、作物产量等的影响因气候、土壤母质、种植管理制度等因素而不同。在青海省(富钾区)增施一定量无机钾肥或秸秆还田能够改善土壤质量,对春小麦产量和品质的稳定和提高也有较为明显的作用,因此在施氮、磷肥的基础上增施无机钾肥或半量秸秆还田在当地农业生产实际中可以推广应用,建议全量秸秆还田增加秸秆腐熟剂等措施,可能会收到更好的效果。随着该长期定位试验的继续推进,或许会有新的发现和认识,并对以上结论进行修正。

### 参考文献:

- [1] 沈善敏. 长期土壤肥力试验的科学价值[J]. 植物营养与肥料学报, 1995, 1(1): 1-9.  
Shen S M. The scitific value of long-term soil fertility experiment [J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 1995, 1(1): 1-9.
- [2] 曾江海. 长期定位试验研究及其生态学意义[J]. 资源生态环境网络研究动态, 1995, 6(1): 24-30.  
Zeng J H. Study on long-term and site-fixed experiment and the ecological effect[J]. Environ. Sci. Trends, 1995, 6(1): 24-30.
- [3] 李文祥. 长期不同施肥对壤土肥力及作物产量的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2007, (2): 23-25.  
Li W X. Effect of fertilization on Lou-soil fertility and yield[J]. China Soils Fert., 2007, (2): 23-25.
- [4] 张奇春,王光火. 长期不同施肥下杂交稻与常规稻的产量与土壤养分平衡[J]. 植物营养与肥料学报, 2006, 12(3): 340-345.  
Zhang Q C, Wang G H. Yield of inbred rice and hybrid rice and soil nutrient balance under long-term fertilization[J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2006, 12(3): 340-345.
- [5] 张少民,郝明德,陈磊. 黄土高原长期施肥对小麦产量及土壤肥力的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2006, 24(6): 85-89.  
Zhang S M, Hao M D, Chen L. Effects of long-term fertilization on yield of wheat and soil fertility in dry-land of Loess Plateau[J]. Agric. Res. Arid Areas, 2006, 24(6): 85-89.
- [6] 金继运,李家康,李书田. 化肥与粮食安全[J]. 植物营养与肥料学报, 2006, 12(5): 601-609.  
Jin J Y, Li J K, Li S T. Chemical fertilizer and food security[J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2006, 12(5): 601-609.
- [7] 张北赢,陈天林,王兵. 长期施用化肥对土壤质量的影响[J]. 中国农学通报, 2010, 26(11): 182-187.  
Zhang B Y, Chen T L, Wang B. Effects of long-term uses of

- chemical fertilizers on soil quality[J]. *Chin. Agric. Sci. Bull.*, 2010, 26(11): 182-187.
- [8] 徐永刚, 宇万太, 马强, 等. 长期不同施肥制度对潮棕壤微生物生物量碳、氮及细菌群落结构的影响[J]. *应用生态学报*, 2010, 21(8): 2078-2085.
- Xu Y G, Yu W T, Ma Q *et al.* Effects of long-term fertilizations on microbial biomass C and N and bacterial community structure in an aquatic brown soil[J]. *Chin. J. Appl. Ecol.*, 2010, 21(8): 2078-2085
- [9] 郭菊花, 陈小云, 刘满强, 等. 不同施肥处理对红壤性水稻土团聚体的分布及有机碳、氮含量的影响[J]. *土壤*, 2007, 39(5): 787-793.
- Guo J H, Chen X Y, Liu M Q *et al.* Effects of fertilizer management practice on distribution of aggregates and content of organic carbon and nitrogen in red paddy soil[J]. *Soils*, 2007, 39(5): 787-793.
- [10] 谢锦升, 杨玉盛, 解明曙, 等. 土壤轻组有机质研究进展[J]. *福建林学院学报*, 2006, 26(3): 281-288.
- Xie J S, Yang Y S, Xie M S *et al.* Advance of research on light fraction organic matter in soil[J]. *J. Fujian Coll. For.*, 2006, 26(3): 281-288.
- [11] 王刚, 王春燕, 王文颖. 子午岭森林灰褐土保护有机碳的能力及各密度组分生化特征[J]. *科学通报*, 2004, 49(24): 2562-2567.
- Wang G, Wang C Y, Wang W Y. Capacity of fixing organic carbon and properties of different organic carbon part in density in woody gray cinnamonic soil on ZiWu mountain[J]. *Chin. Sci. Bull.*, 2004, 49(24): 2562-2567.
- [12] Amezketa E. Soil aggregate stability [J]. *J. Sust. Agric.*, 1999, 14: 83-151.
- [13] 彭娜, 王开峰. 有机肥化肥长期配合施用对稻田土壤团聚性的影响[J]. *江苏农业科学*, 2009, (4): 326-328.
- Peng N, Wang K F. Effect of long-term chemical fertilizer and manure application on paddy soil aggregates[J]. *Jiangsu Agric. Sci.*, 2009, (4): 326-328.
- [14] 周虎, 吕贻忠, 杨志臣, 等. 保护性耕作对华北平原土壤团聚体特征的影响[J]. *中国农业科学*, 2007, 40(9): 1973-1979.
- Zhou H, Lü Y Z, Yang Z C *et al.* Effects of conservation tillage on soil aggregates in huabei plain, China[J]. *Sci. Agric. Sin.*, 2007, 40(9): 1973-1979.
- [15] 姜灿烂, 何园球, 刘晓利, 等. 长期施用有机肥对旱地红壤团聚体结构与稳定性的影响[J]. *土壤学报*, 2010, 47(4): 715-720.
- Jiang C L, He Y Q, Liu X L *et al.* Effect of long-term application of organic manure on structure and stability of aggregate in upland red soil[J]. *Acta Pedol. Sin.*, 2010, 47(4): 715-720.
- [16] Ting G, Novak J M, Amarasiriwardena D *et al.* Soil organic matter characteristic as affected by tillage management[J]. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 2002, 66: 421-429.
- [17] Malhi S S, Harapiak J T, Nyborg M *et al.* Total and light fraction organic C in a thin Black Chernozemic grassland soil as affected by 27 annual applications of six rates of fertilizer N[J]. *Fert. Res.*, 2003, 66: 33-41.
- [18] 张会民, 徐明岗, 吕家珑, 刘红霞. 不同生态条件下长期施钾对土壤钾素固定影响的机理[J]. *应用生态学报*, 2007, 18(5): 1009-1014.
- Zhang H M, Xu M G, Lü J L, Liu H X. Effects of long-term potassium fertilization on potassium fixation in soils under different ecological conditions: A mechanism study[J]. *Chin. J. Appl. Ecol.*, 2007, 18(5): 1009-1014.
- [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[J]. *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[J]. *J. Soil Water Conserv.*, 2006, 20(6): 141-144.
- [20] 王小彬, 蔡典雄, 张镜清, 等. 旱地玉米秸秆还田对土壤肥力的影响[J]. *中国农业科学*, 2000, 33(4): 54-61.
- Wang X B, Cai D X, Zhang J Q *et al.* Effects of corn stover incorporated in dry farmland on soil fertility[J]. *Sci. Agric. Sin.*, 2000, 33(4): 54-61.
- [21] 谭德水, 金继运, 黄绍文. 长期施钾与秸秆还田对西北地区不同种植制度下作物产量和土壤钾素的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2008, 14(5): 886-893.
- Tan D S, Jin J Y, Huang S W. Effect of long-term K fertilizer application and returning wheat straw to soil on crop yield and soil K under different planting systems in northwestern China [J]. 2008, 14(5): 886-893.
- [22] 张亚丽, 陈占全, 李月梅. 长期施钾和秸秆还田对青海小麦产量和土壤钾素的影响[J]. *高效施肥*, 2009, (2): 2-6.
- Zhang Y L, Chen Z Q, Li Y M. Effect of long-term potassium fertilization and straw return on spring wheat yield and soil K in Qinghai[J]. *Bett. Crops*, 2009, (2): 2-6.
- [23] Blake L, Mercik S, Koerschens M *et al.* Potassium content in soil, uptake in plants and the potassium balance in three European long-term field experiments[J]. *Plant Soil*, 1999, 216: 1-14.
- [24] 曾木祥, 金维续, 姚源喜, 等. 从长期定位试验看有机-无机肥料配合施用的优越性[J]. *土壤肥料*, 1992, (1): 1-6.
- Zeng M X, Jin W X, Yao Y X *et al.* The merit of manure and chemical fertilizer application evaluated a long-term field test [J]. *China Soils Fert.*, 1992, (1): 1-6.