

绿肥与化肥配施对小麦产量和土壤肥力的影响

张久东^{1,2}, 包兴国², 胡志桥^{1,2}, 王 婷², 曹卫东³,
车宗贤², 杨文玉², 李全福², 王 健^{1*}

(1. 西北农林科技大学资源与环境学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 甘肃省农业科学院土壤肥料与节水农业研究所, 甘肃 兰州 730030; 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: 在甘肃河西绿洲灌区, 通过田间试验研究在施氮总量不变的条件下, 由绿肥代替相同含氮量的化肥对小麦产量、经济性状、土壤肥力和土壤微生物数量的影响。结果表明, 第一年随着绿肥量的增加, 小麦产量具有下降趋势, 但绿肥收获后各处理的土壤肥力却得到显著增加; 第二年随着绿肥量的增加小麦产量依次增加, 以 70% 化肥 N+30% 绿肥 N 处理产量最高, 为 8 562 kg/hm², 较农民习惯施肥处理增产 24.7%。绿肥氮代替化学氮在 30% ~45% 时具有增产效果, 并能改善土壤理化性质, 培肥地力, 促进微生物活动, 具有良好的生态效益和社会效益。

关键词: 绿肥; 复种; 土壤肥力; 小麦产量; 河西走廊

中图分类号: S142⁺.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2011)06-0125-05

绿肥是我国传统农业的精华。绿肥作物栽培利用历史悠久, 曾对我国农业生产起到举足轻重的作用^[1]。施用绿肥可以明显地提高土壤中氮素的含量, 因为绿肥比较鲜嫩, 翻压后腐解矿化快, 能迅速及时地释放出养分供农作物吸收利用。绿肥在提高土壤有机质含量的同时, 可增加土壤碱解氮、速效磷和速效钾含量^[2], 也可以使土壤容重下降、孔隙度和水稳性结构体增加^[3], 绿肥在提高土壤肥力的同时, 还能减少、阻止土壤侵蚀, 保持土壤质量, 对退化地的改良具有很好的效果^[4]。

毛叶苕子 (*Vicia Villosa* Roth.) 属巢菜属, 一年生或越年生豆科草本植物。箭筈豌豆 (*Vacia Sativa* L.), 又名大巢菜、野豌豆、救荒野豌豆等, 一年生或越年生豆科草本植物, 是巢菜属中主要的栽培品种, 根系发达, 主根肥大, 入土不深, 根上具有大量粉红色根瘤, 喜排水良好的壤土及砂壤土^[5,6]。

近年来, 由于生产中只注重无机肥料的施用, 造成耕地土壤理化性状变差, 肥力下降, 病害加重, 严重影响到作物产量和品质的提高, 不利于农村经济的可持续发展^[7]。小麦复播绿肥可以减少长期连作带来的弊端, 改善土壤环境, 也是一种在时间和空间上充分提高土地资源利用率、提高复种指数、培肥地力、保护生态环境的有效措施^[8~10]。试验探索绿肥与化肥配施对小麦产量和土壤养分的影响, 为甘肃省河西地区小麦合理施肥提供理论依据, 从而带动绿肥种植, 促进农村经济发展, 改善当地生态环境。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验于 2009 年 3 月到 2010 年 10 月在甘肃省农业科学院武威绿洲农业试验站进行。试验区海拔 1 504 m, 年平均气温 7.7℃, ≥10℃ 有效积温 3 016℃, 年日照时数 2 800~3 300 h, 无霜期 150 d, 平均降雨量 222 mm, 蒸发量 2 021 mm, 为温带大陆性干旱气候, 属石羊河流域井水灌区。土壤为灌漠土, 土层较深。播前 0~20 cm 耕层土壤理化性质为: 土壤有机质 19.1 g/kg, 碱解氮 74.3 mg/kg, 速效磷 (P₂O₅) 9.9 mg/kg, 速效钾 (K₂O) 169.7 mg/kg, pH 值 8.31。

1.2 试验设计

试验设 6 个处理, 不同处理施肥量见表 1。处理 2 是农民习惯施肥模式, 化肥用量分别为纯 N 225 kg/hm², 其中 80% 做底肥, 20% 苗期追肥; P₂O₅ 150 kg/hm² (底肥); 绿肥为盛花期收割的毛叶苕子与箭筈豌豆风干后的混合物, 含全 N 35 g/kg, 全 P 8.2 g/kg, 全 K 33 g/kg。供试品种小麦为“武春 3 号”, 毛叶苕子为“土库曼毛叶苕子”, 箭筈豌豆为“陇箭 1 号”。播种量分别为小麦 450 kg/hm², 毛叶苕子 30 kg/hm², 箭筈豌豆 60 kg/hm²。小麦行距 15 cm, 人工开沟播种。复种绿肥的处理在浇麦黄水前撒播毛叶苕子和箭筈豌豆。重复 3 次, 共 18 个小区, 随机区组排列。小区之间筑 50 cm×30 cm 的地埂, 小区面

收稿日期: 2011-05-19

基金项目: 公益性行业 (农业) 科研专项经费项目“绿肥作物生产与利用技术集成研究及示范” (201103005-04)

作者简介: 张久东 (1979-), 男, 甘肃静宁人, 在读硕士, 助理研究员, 主要从事土壤肥料研究。E-mail: 365122769@qq.com。

* 通讯作者: 王 健, 男, 陕西商州人, 副教授, 主要从事土壤侵蚀与流域管理方面的研究。

积 20 m²(4 m×5 m)。选择地块平整,地力均匀的玉米茬为试验地。

表 1 不同处理施肥量表
Table 1 Fertilization scale of different treatments

编号 No.	处理 Treatment	N (kg/hm ²)	P ₂ O ₅ (kg/hm ²)	绿肥 Green manure(kg/hm ²)
1	CK	0	0	0
2	农民习惯施肥 FFP	225	150	0
3	85%化肥 N+15%绿肥 N 85% fertilizer N +15% green manure N	191	150	971
4	70%化肥 N+30%绿肥 N 70% fertilizer N +30% green manure N	158	150	1942
5	55%化肥 N+45%绿肥 N 55% fertilizer N +45% green manure N	124	150	2912
6	40%化肥 N+60%绿肥 N 40% fertilizer N +60% green manure N	90	150	3884

1.3 样品采集与测定方法

土样采集:采集播种前基础土样和小麦收获后土样,每区按照 S 形随机取混合耕作层 0~20 cm 土样,风干、研磨过 0.25 mm 筛,用于土壤养分含量的测定。测定项目包括土壤有机质、碱解氮、速效磷、速效钾。有机质含量测定采用重铬酸钾-外加热法;碱解氮含量采用碱解扩散法;速效磷含量采用 0.5 mol/L NaHCO₃ 浸提比色法;速效钾含量采用 NH₄H₂OAc 浸提火焰光度法。土壤微生物测定土样于 9 月 27 日取绿肥盛花期 0~20 cm 的新鲜土壤。采用稀释平板计数法测定微生物数量^[11~13],再将新鲜土样中土壤含水量扣除,以干土作为微生物数量测定的计算单位。

产量:小麦成熟后对各小区进行单打单收,分区考种计产。

数据处理:采用 Excel 2003 和 DPS 9.50 数据分析软件中的 LSD 法进行数据分析和差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 绿肥与化肥氮配施对小麦产量的影响

从表 2 可以看出,2009 年和 2010 年小麦产量结果存在较大差异,2009 年不同施肥处理之间产量差异不明显,具有随着绿肥施用量增加而降低的趋势,出现以上结果是由于 2009 年是第一年试验,翻压的绿肥在小麦生育期没有完全腐解,N、P、K 等没有被小麦充分吸收利用,从而导致施用绿肥较多的处理小麦营养元素缺乏而出现减产,这与收获后土壤养分 N、P、K 等大幅度提升相对应。2010 年产量结果表明,随着绿肥施肥量的增加小麦产量依次增加,较农民习惯施肥处理差异达显著水平,以 70%化肥 N+30%绿肥 N 处理产量最大,为 8 562 kg/hm²,较农民习惯施肥处理增产 24.7%。在施入绿肥 1 942 kg/hm²代替 30%的化学 N 素的同时,也施入可观的 P 和 K,以上推论表明以绿肥代替部分化学肥料具有较大的增产潜力。

表 2 绿肥与化肥氮配施对小麦产量的影响
Table 2 Effect of combined aplication of green manure and chemical fertilizer on wheat yield

No.	处理 Treatment	产量 Yield(kg/hm ²)		增产量 Increase(kg/hm ²)		增产率 Increase rate(%)	
		2009	2010	2009	2010	2009	2010
1	CK	5690 _b	3281 _c	-1472	-3585	-20.6	-52.2
2	农民习惯施肥 FFP 100%	7162 _a	6866 _b	—	—	—	—
3	85%化肥 N+15%绿肥 N 85% fertilizer N +15% green manure N	7149 _a	7248 _b	-13	382	-0.2	5.6
4	70%化肥 N+30%绿肥 N 70% fertilizer N +30% green manure N	7260 _a	8562 _a	98	1696	1.4	24.7
5	55%化肥 N+45%绿肥 N 55% fertilizer N +45% green manure N	7187 _a	8440 _a	25	1574	0.3	22.9
6	40%化肥 N+60%绿肥 N 40% fertilizer N +60% green manure N	7115 _a	8280 _a	-47	1414	-0.7	20.6

注:不同小写字母表示差异 5%显著水平,下同。本文以 FFP 为对照计算增产量和增产率,以便利于指导农业生产。
Note: Different small letters indicate significant difference at 5% level, and they are the same in the follows. In this paper, FFP is used as the control in the calculation of yield increase and increase rate in order to help guide agricultural production.

2.2 绿肥与化肥氮配施对小麦产量性状的影响

通过对各小区取样 20 株进行考种,不同施肥处理间连续两年小麦经济性状结果如表 3 所示。2009 年小麦的株高、穗长和千粒重差异并不显著。2010 年施用绿肥的处理在株高、穗长和千粒重等指标上

均高于 FFP,但差异不显著,绿肥 N 占总施 N 量超过 30%的处理其株高、穗长和籽粒数相对较高,与小麦产量结果基本一致,可说明相同量绿肥 N 代替化学 N 能影响小麦的经济性状,从而影响产量。

表 3 绿肥与化肥氮配施对小麦产量性状的影响

Table 3 Effect of combined aplication of green manure and chemical fertilizer on chief characteristics of wheat									
No.	处理 Treatment	株高(cm) Plant height		穗长(cm) Ear length		千粒重(g) 1000-grain weight		粒数(个/20 株) Number of grains	
		2009	2010	2009	2010	2009	2010	2009	2010
1	CK	68.7 _b	58.2 _c	5.7 _b	5.1 _b	59.9 _a	52.0 _a	15.6 _c	15.3 _b
2	农民习惯施肥 FFP100%	72.6 _{ab}	77.6 _b	6.6 _{ab}	7.8 _a	55.2 _a	53.6 _a	26.6 _{ab}	31.4 _a
3	85%化肥 N+15%绿肥 N 85% fertilizer N + 15% green manure N	73.1 _{ab}	81.2 _{ab}	7.0 _a	8.5 _a	55.1 _a	54.5 _a	24.8 _{ab}	33.3 _a
4	70%化肥 N+30%绿肥 N 70% fertilizer N + 30% green manure N	72.1 _{ab}	82.2 _{ab}	7.0 _a	9.1 _a	55.2 _a	54.0 _a	24.3 _b	38.9 _a
5	55%化肥 N+45%绿肥 N 55% fertilizer N + 45% green manure N	73.8 _a	84.5 _a	6.9 _{ab}	8.7 _a	55.0 _a	54.2 _a	25.9 _{ab}	35.9 _a
6	40%化肥 N+60%绿肥 N 40% fertilizer N + 60% green manure N	73.9 _a	83.8 _a	7.1 _a	8.3 _a	55.9 _a	54.8 _a	29.3 _a	37.7 _a

2.3 绿肥与化肥配施对小麦根层(0~20 cm)土壤养分的影响

由土壤养分结果(表 4)可以看出,不同处理土壤有机质含量 2010 年均高于 2009 年,绿肥代替化学氮肥的各个处理碱解氮、速效磷和速效钾均高于对照处理,且随着绿肥施用量的增加而增加。各处理碱解氮含量差异并不显著,其最大值出现在 40%

化肥 N+60%绿肥 N 处理,为 83.2 mg/kg,这与施用绿肥量较高,绿肥在小麦生长期内不能完全腐解利用的高残留有关;55%化肥 N+45%绿肥 N 处理速效磷含量最高为 39.2 mg/kg,速效磷随着施 N 量的降低而降低,当 N、P、K 值在适宜条件时,增施绿肥能促进作物对 K 和 P 的吸收利用;可见绿肥代替部分化肥具有较好的增肥效果。

表 4 绿肥与化肥配施对耕层(0~20 cm)土壤养分的影响

Table 4 Effect of combined aplication of green manure and chemical fertilizer on soil fertility (0~20 cm)									
No.	处理 Treatment	有机质(g/kg) Organic matter 19.1		碱解 N(mg/kg) Available N 74.3		速效 P(mg/kg) Available P 9.9		速效 K(mg/kg) Available K 169.7	
		2009	2010	2009	2010	2009	2010	2009	2010
1	CK	18.1	21.0 _a	53.1	64.6 _b	36.7	18.9 _b	129.1	112.4 _b
2	农民习惯施肥 FFP100%	17.2	21.7 _a	62.0	66.3 _b	40.9	30.9 _a	120.2	114.1 _b
3	85%化肥 N+15%绿肥 N 85% fertilizer N + 15% green manure N	18.1	22.0 _a	65.2	70.4 _b	41.1	31.2 _a	145.0	117.1 _b
4	70%化肥 N+30%绿肥 N 70% fertilizer N + 30% green manure N	19.0	22.4 _a	70.3	70.5 _b	31.0	38.3 _a	130.1	127.3 _a
5	55%化肥 N+45%绿肥 N 55% fertilizer N + 45% green manure N	19.9	22.2 _a	71.6	72.6 _{ab}	25.8	39.2 _a	145.0	127.2 _a
6	40%化肥 N+60%绿肥 N 40% fertilizer N + 60% green manure N	21.5	22.5 _a	77.8	83.2 _a	23.7	34.8 _a	160.8	130.4 _a

2.4 绿肥与化肥配施对小麦收获后 0~20 cm 土壤微生物数量的影响

土壤微生物通过分解作用,将动植物和自身的残体以及根际分泌物等有机 C、N 矿化释放到土壤

中,或是固定于自身体内,推动整个生物地球化学循环的运行,维系植物生长对养分的需求。从(表 5) 2010 年绿肥盛花期土壤微生物数量可以看出,不同处理对土壤中微生物数量影响达到显著水平,绿肥

代替部分化学氮肥的处理土壤细菌数量较常规施肥均有增加,随着绿肥量增加和化学氮肥量降低细菌数量呈现先增加后减小趋势,由此可见,绿肥代替适量化学氮肥能够促进细菌的活动,其中绿肥代替

30%化学氮肥处理达到最大值,为 5.2×10^7 (U/g);真菌数量随着绿肥量的增加呈现先降低后增大趋势;放线菌占微生物数量比例较小,将不再做探讨。

表 5 绿肥与化肥配施对土壤微生物数量的影响(2010 年)

Table 5 Effect of combined aplication of green manure and chemical fertilizer on quantity of soil microorganism at 2010				
No.	处理 Treatment	细菌(U/g) Bacteria	真菌(U/g) Fungi	放线菌(U/g) Actinomycetes
1	CK	2.3×10^7 b	3.6×10^6 a	5.6×10^4 a
2	农民习惯施肥 FFP100%	3.1×10^7 b	2.0×10^6 b	1.6×10^4 d
3	85%化肥 N+15%绿肥 N 85% fertilizer N + 15% green manure N	4.7×10^7 a	1.9×10^6 b	3.3×10^4 bc
4	70%化肥 N+30%绿肥 N 70% fertilizer N + 30% green manure N	5.2×10^7 a	1.9×10^6 b	2.1×10^4 cd
5	55%化肥 N+45%绿肥 N 55% fertilizer N + 45% green manure N	4.1×10^7 ab	2.9×10^6 a	4.6×10^4 a
6	40%化肥 N+60%绿肥 N 40% fertilizer N + 60% green manure N	4.1×10^7 ab	3.0×10^6 a	3.8×10^4 ab

3 结论与讨论

本研究通过连续两年绿肥代替部分化学氮肥结合麦后复种毛叶苕子和箭筈豌豆,得出以绿肥代替部分化学氮肥第一年随着绿肥施用量的增加小麦产量降低,这与翻压的绿肥在小麦生育期没有完全腐解,N、P、K 等没有被小麦充分吸收利用,从而导致施用绿肥量较大的处理小麦营养元素缺乏有关。第二年小麦产量随着绿肥施用量的增加依次增加,以 40%化肥 N+60%绿肥 N 处理产量最大,为 $8\ 414\text{ kg/hm}^2$,较农民习惯施肥处理增产 24.0%,表明以绿肥代替化学肥料具有较大的增产潜力,但具体施用多少绿肥使增产达到最大还待进一步研究。

随着绿肥量增加,土壤微生物数量也相应增加,施用绿肥能够促进土壤微生物活动,进而提升土壤肥力。在有外加 N 肥的情况下对微生物的影响与碳源有关,施用有机肥不但增加了土壤养分,同时也为微生物提供充足的 C 源,使土壤微生物显著高于单施化肥的处理^[14],同时微生物数量与土壤有机质呈密切的正相关关系^[15,16]。绿肥代替化肥在提供氮素的同时带入大量的有机质,为微生物的生命活动提供充足的碳源,促进了微生物的活动,加速土壤有机质的腐解矿化,从而提升土壤肥力,增加粮食产量。

参 考 文 献:

[1] 杨春燕,赵双进,张孟臣.高蛋白大豆新品种冀豆 15 号的选育

[J].河北农业科学,2005,9(2):60—62.
[2] 俞益武,徐秋芳.天然林改为经济林后土壤微生物量的变化[J].水土保持学报,2003,17(5):113.
[3] 周开芳,何炎.豆科冬绿肥翻压对土壤肥力和杂交玉米产量及品质的影响[J].贵州农业科学,2003,31(增刊):42—45.
[4] 刘爱琴,马祥庆,何智英.炼山间种绿肥对杉木林退化地的改良效果[J].浙江林学院学报,1999,16(4):369—374.
[5] 苏加楷,张文淑.优良牧草及栽培技术[M].北京:金盾出版社,2001:173—176.
[6] 钱晓刚.绿肥的种植与利用[M].贵州:贵州科技出版社,1999:24—26.
[7] 徐祥玉,王海明,袁家富.不同绿肥对土壤肥力质量及其烟叶产质量的影响[J].中国农学通报,2009,25(13):58—61.
[8] 刘国顺,罗贞保,王岩,等.绿肥翻压对烟田土壤理化性状及土壤微生物量的影响[J].水土保持学报,2006,(2):95—98.
[9] 陈玉鲜.绿肥在土壤中转化的研究[J].土壤肥料,2006,(8):70—75.
[10] 梁永成,包兴国.小麦玉米带田麦带内套种绿肥试验[J].甘肃农业科技,1996,(7):33—34.
[11] 鲍士旦.土壤农化分析[M].北京:中国农业出版社,2005:30—107.
[12] 吴金水.土壤微生物生物量测定方法及其应用[M].北京:中国农业出版社,2006:3—4.
[13] 鲁如坤.土壤农业化学分析方法[M].北京:中国农业出版社,2000:228—238.
[14] 胡田田,石峥,汤代良.长期施肥对石灰性土壤生物及养分因子的影响后效[J].干旱地区农业研究,2000,18(1):28—32.
[15] Sparling G P. The soil biomass[C]//Vaughan D, Malcolm R E. Soil Organic Matter and Biological Activity. Netherlands: Martinus Nijhoff/Dr W Junk Publishers, 1985:223—262.
[16] 王瑞军,李世清,张兴昌,等.西北地区不同生态系统几种土壤有机氮组分和微生物体氮的差异[J].干旱地区农业研究,2004,12(4):21—26.

Effect of combined application of green manure and chemical fertilizer on wheat yield and soil fertility

ZHANG Jiu-dong^{1,2}, BAO Xing-guo², HU Zhi-qiao², WANG Ting², CAO Wei-dong³,
CHE Zong-xian², YANG Wen-yu², LI Quan-fu², WANG Jian^{1*}

(1. College of Resources and Environment, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2. Soil and Fertilizer and Water-saving Institute, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou 730070, China;

3. Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract: An experiment was carried out in Gansu Hexi oasis irrigation area to investigate, under the condition of total amount of N application remaining unchanged, the effect of green manure replacing chemical fertilizer with the same content of N on wheat yield and chief characteristics, soil fertility and soil microbial quantity. The results showed that, in the first year, the wheat yield decreased with the increase of green manure, but the content of soil available N, P, K and organic matter increased after green manure harvest; In the second year, the increase of green manure increased wheat yield, and 70% green manure N + 30% chemical fertilizer N achieved the highest yield of 8 562 kg/hm², 24.7% more than that by FFP. Green manure replacing N fertilizer by 30%~45% improved soil fertility and wheat yield, and had good economic and ecological benefits.

Keywords: green manure; multiple cropping; soil fertility; wheat yield; Hexi oasis

(上接第 118 页)

[8] 鲍士旦.土壤农化分析[M].北京:中国农业出版社,2005:245—271.

[9] 孙 权.农业资源与环境质量分析方法[M].银川:宁夏人民出版社,2004:55—66.

[10] 马玉兰.宁夏测土配方施肥技术[M].银川:宁夏人民出版社,2008:170—210.

[11] 何文寿.植物营养学通论[M].银川:宁夏人民出版社,2004:67—103.

The influence of different fertilizing measures on soil fertility and nutrient uptaking of rice plant in alkaline soil

CHEN Shu-juan, HE Wen-shou^{*}, WANG Xiao-jun, DING Jian-peng
(College of Agriculture, Ningxia University, Yinchuan, Ningxia 750021, China)

Abstract: In order to find out the influence of NPK nutrient uptakeing of rice plant in salinity-alkalinity stress condition, different fertilizing measures were studied on the Qianjin farm in Ningxia. The results showed that soil pH value and total salt content reduced at different degree regardless of cultivated land or wasteland after harvest. Soil alkali-hydro nitrogen content after harvest increased by 67.2% and 24.5% respectively, rapidly-available phosphorus reduced by 3.6% and 52.3%, and rapidly-available potassium content reduced by 5.2% and 15.8%. In different fertilizing measures, rice stems, leaf total nitrogen content showed a rising trend first, and then a declining one, while total phosphorus was all in a declining trend. The total potassium content showed first rising gently and then declining.

Keywords: fertilizing measure; soil fertility; nutrient uptaking