植物营养与肥料学报 2013,19(4):799-807
Journal of Plant Nutrition and Fertilizer doi: 10.11674/zwyf.2013.0404

种植翻压二月兰配施化肥对春玉米养分吸收利用的影响

杨璐[1],曹卫东[2,3*],白金顺[2],熊静[4],高嵩涓[1],曾闹华[2],志水胜好[5]
(1 中国农业科学院研究生院,北京 100081;2 农业部植物营养与肥料重点实验室,中国农业科学院农业资源与农业区划研究所,北京 100081;3 青海大学青海农林科学院,西宁 810016;4 湖南农业大学资源环境学院,湖南长沙 410128;5 筑波大学生命环境系,日本茨城县 305-8572)

摘要: 研究了华北地区种植翻压冬绿肥二月兰(*Orychophragmus violaceus* L.)后,在当地习惯施肥基础上玉米减量施肥措施对春玉米产量及养分吸收利用的影响。试验设不施肥(F_0)、习惯施肥(F_{100})、单施绿肥(F_0+G)以及绿肥与不同比例的化肥配施(化肥习惯用量的70%、85%、100%)($F_{70}+G$、$F_{85}+G$、$F_{100}+G$)6个处理。结果表明,施用化肥和化肥绿肥配施均能显著提高春玉米产量,增加地上部总养分量和不同器官养分的累积量,改善养分在不同器官中的分配比例。与F_0比较,F_{100}、$F_{70}+G$、$F_{100}+G$和$F_{85}+G$处理的春玉米产量分别增加101.4、108.4、115.5和130.4 g/plant,增幅达120.9%、129.2%、137.6%和155.3%。翻压绿肥后,化肥减量15%的处理($F_{85}+G$)春玉米子粒产量增加29.0 g/plant、地上部吸氮量增加0.65 g/plant,显著高于单施化肥处理F_{100};绿肥配施100%的化肥和化肥减量30%的处理($F_{100}+G$、$F_{70}+G$)玉米生物量、养分吸收量与习惯施肥(F_{100})无明显差异。翻压绿肥配施不同比例化肥的3个处理与F_{100}相比玉米子粒养分累积量及分配比例没有明显差异。

关键词: 绿肥;二月兰;玉米;化肥;配施
中图分类号: S551+.9;S513.062 **文献标识码:** A **文章编号:** 1008-505X(2013)04-0799-09

Effect of combined application of February Orchid(*Orychophragmus violaceus* L.)and chemical fertilizer on nutrient uptake and utilization of spring maize

YANG Lu[1], CAO Wei-dong[2,3*], BAI Jin-shun[2], XIONG Jing[4], GAO Song-juan[1], ZENG Nao-hua[2], SHIMIZU Katsuyoshi[5]
(*1 The Graduate School, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China; 2 Key Laboratory of Plant Nutrition and Fertilizer/Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China; 3 Qinghai Academy of Agriculture and Forestry, Qinghai University, Xining 810016, China; 4 College of Resource and Environment, Hunan Agricultural University, Hunan Changsha 410128, China; 5 Faculty of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba, Ibaraki-ken 305-8572, Japan*)

Abstract: Effects of reducing farmer's fertilizer rates on yield and nutrient utilization of spring maize were investigated by using February Orchid (*Orychophragmus violaceus* L.) as green manure. There were six treatments, control (F_0), farmer's fertilizer rate (F_{100}), green manure application only (F_0+G), and green manure combined with 70%, 85% and 100% of farmer's fertilizer rates ($F_{70}+G$, $F_{85}+G$ and $F_{100}+G$), respectively. The results show that both the fertilizer and the fertilizer combined with green manure could increase the yields and nutrient accumulation amounts of shoot and component tissues, and could improve the nutrient distribution in maize.

收稿日期: 2012-12-06 **接受日期:** 2013-04-08
基金项目: 公益性行业(农业)科研专项(201103005);中国农业科学院科技创新工程;中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金(中国农业科学院农业资源与农业区划研究所202-6);国家农作物种质资源平台运行服务项目;作物种质资源保护和利用项目(NB2012-2130135-3)资助。
作者简介: 杨璐(1987—),女,湖北安陆人,硕士研究生,主要从事绿肥作物生产与利用方面的研究。E-mail: luckyyl_520@163.com
* 通信作者 E-mail:caoweidong@caas.cn

The yields of F_{100}, $F_{70}+G$, $F_{100}+G$ and $F_{85}+G$ are 101.4, 108.4, 115.5 and 130.4 g/plant, which are about 120.9%, 129.2%, 137.6% and 155.3% higher than the control, respectively. Compared with F_{100}, maize grain yield and shoot N accumulation under the treatment of $F_{85}+G$ are significantly increased by 29.0 g/plant and 0.65 g/plant, respectively. There are no significant differences among the treatments of F_{100}, $F_{85}+G$ and $F_{100}+G$ for biomass and nutrient accumulation. The nutrient accumulation and distribution in grains under the green manure application combined with fertilizer treatments ($F_{100}+G$, $F_{85}+G$ and $F_{70}+G$) are similar to those of the F_{100}treatment.
Key words: green manure; february orchid; maize; fertilizer; combined application

随着人口增加和耕地面积减少,我国粮食安全与资源消耗及环境保护之间的矛盾日益尖锐。化肥作为粮食增产的决定因子,在我国农业生产中发挥着举足轻重的作用,但近20多年来,化肥用量的持续高速增长并未带来粮食产量的同步增加[1]。农民采用的高投入高产出的生产方式,不仅导致养分利用率降低,也带来了一系列的环境问题[2]。

绿肥作为我国传统农业的精华,在部分替代化肥、培肥土壤、作物高产稳产和环境保护等方面有着极其重要的作用[3],而华北地区一年一熟的种植制度带来的大面积冬闲田,为发展冬季绿肥提供了时间和土地空间。二月兰(*Orychophragmus violaceus* L.)又名诸葛菜,为十字花科诸葛菜属越年生草本植物,能够抵抗低温寒冷的天气,适应多种土壤条件,并能露地过冬[4-5],因而在华北地区有可能作为冬绿肥种植。刘佳等[6-7]研究指出,在华北地区,若秋季适时播种二月兰则能够安全越冬,返青后快速生长并迅速覆盖地面,且在4月中下旬达到盛花期,产量和养分累积量均达到较高水平,此时期适宜翻压用作绿肥,并且正好能够同春玉米的生育期衔接,同时也能为下一茬春玉米的生长提供丰富的养分。为了挖掘绿肥在部分替代化肥上的潜力,进一步保证玉米稳产高产、减轻环境压力,充分发挥绿肥在农业生产上的积极作用,本文研究了冬绿肥二月兰—春玉米生产体系中,种植翻压二月兰后,在农民习惯施肥的基础上,不同比例地减少化肥用量对春玉米产量和养分含量的影响,以期阐明二月兰的绿肥效应,从而为该模式下化肥的合理施用提供理论依据和科学指导。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验在中国农业科学院廊坊市万庄试验基地(116°35′E,39°34′N)进行。廊坊市位于河北中部偏东,与北京市和天津市毗邻,气候特点及种植制度与北京市、天津市类似,属暖温带大陆性季风气候,年平均气温11.9 ℃,年平均日照时数2 660 h左右,无霜期183 d左右,年降水量约554.9 mm,6～8月降水量可达全年总降水量的70%～80%。2008年9月试验开始前,土壤有机质含量4.16 g/kg,全氮0.34 g/kg,速效磷4.20 mg/kg,速效钾73.0 mg/kg,pH 8.39。

供试绿肥作物为二月兰,二月兰播种时均不施用化肥,充分利用春玉米收获后土壤残留养分来生长,并于来年盛花期将其耕翻入土。2008～2010年二月兰—春玉米轮作两次,此次试验为第3次种植二月兰,于2010年9月15日播种,2011年4月28日进行整地和翻压二月兰,翻压时土壤基本理化性状如表1。由于二月兰生长状况不一致,各绿肥处理的二月兰翻压量及其带入的养分含量见表2。

表1 二月兰翻压时土壤基本理化性状

Table 1 The basic soil properties before the February Orchid application

处理 Treatment	有机质(g/kg) Organic matter	全氮(g/kg) Total nitrogen	有效磷(mg/kg) Olsen-P	速效钾(mg/kg) NH_4OAc-K	pH
F_0	4.98	0.29	8.40	88.71	8.49
F_{100}	4.80	0.32	12.15	72.04	8.38
F_0+G	5.42	0.31	6.25	76.37	8.74
$F_{70}+G$	5.18	0.31	9.40	79.75	8.44
$F_{85}+G$	5.36	0.33	10.30	82.16	8.26
$F_{100}+G$	5.21	0.32	10.45	96.32	8.20

表 2　各绿肥处理二月兰翻压量及其养分含量(kg/hm^2)

Table 2　The February Orchid application rates and nutrient contents of different green manure treatments

处理 Treatment	鲜重 Wet weight	干重 Dry weight	全氮 Total N	全磷 Total P	全钾 Total K
F_0+G	4561.6	634.1	21.5	2.2	21.1
$F_{70}+G$	10178.0	1414.7	48.0	4.8	47.0
$F_{85}+G$	19053.8	2648.5	89.8	9.0	87.9
$F_{100}+G$	15169.3	2108.5	71.5	7.2	70.0

春玉米品种为郑单 958,播种时间为 2011 年 5 月 10 日,种植密度 75 000 plang/hm^2。春玉米 100%化肥为当地农民习惯用量,即施 N 225.0 kg/hm^2、P_2O_5 112.5 kg/hm^2、K_2O 112.5 kg/hm^2。其中磷、钾肥在绿肥翻压的同时作为基肥一次性施入,氮肥按 1∶1 基施和追施,追肥时期为 2011 年 6 月 30 日的玉米抽雄期。

1.2　试验设计

试验设 6 个处理:1)不施肥对照(F_0);2)单施绿肥(F_0+G);3)100%化肥(F_{100});4)100%化肥+绿肥($F_{100}+G$);5)85%化肥+绿肥($F_{85}+G$);6)70%化肥+绿肥($F_{70}+G$)。每个处理 4 次重复,小区面积 2.4×4.8=11.52 m^2,随机区组排列。

1.3　测定项目与方法

在玉米成熟期每个小区收获均匀一致的玉米 3 株(地上部),分为茎秆、叶片和子粒 3 个部分,在 105℃杀青 30 min,70℃烘干后测定生物量,然后将样品粉碎。用浓 $H_2SO_4-H_2O_2$ 消煮,AA3 流动分析仪测定植株各部分全氮和全磷含量,WFX-100 原子发射仪测定全钾含量。

试验数据采用 Microsoft Excel 2007 和 SAS8.2 软件进行整理和统计分析,LSD 法检验差异显著性。

2　结果分析

2.1　不同处理对春玉米地上部生物量及子粒产量的影响

成熟期春玉米地上部生物量和子粒产量如图 1 所示。从图 1 可以看出,与不施肥(F_0)比较,化肥绿肥配施及单施化肥均能显著提高春玉米生物量,但 $F_{100}+G$、$F_{85}+G$、$F_{70}+G$ 处理的生物量与 F_{100}处理间无明显差异。各处理中以 $F_{85}+G$ 的生物量最高,达到 347.6 g/plant;其次为 $F_{100}+G$ 和 F_{100},生物量分别达到 341.8 和 322.0 g/plant,$F_{70}+G$ 处理的生物量也达到 299.8 g/plant,均显著高于不施肥(F_0)和单施绿肥(F_0+G)处理。单施绿肥(F_0+G)处理与不施肥(F_0)相比,生物量没有明显差异。

从图 1 还可以看出,与 F_0 处理相比,F_{100}、$F_{70}+G$、$F_{100}+G$ 和 $F_{85}+G$ 4 个处理的春玉米子粒产量均显著增加,其产量分别提高 101.4、108.4、115.5 和 130.4 g/plant,增幅分别为 120.9%、129.2%、

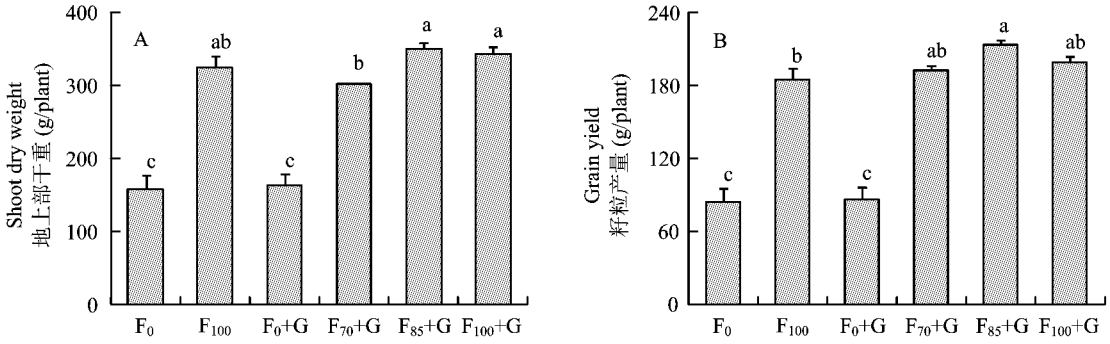

图 1　不同处理玉米成熟期地上部生物量和子粒产量

Fig. 1　Shoot dry matter and yield of maize in different treatments

[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 at 5% levels.]

137.6%和155.3%。与生物量不同的是,F_{85}+G处理的子粒产量不仅最高,而且显著高于F_{100}处理,比其提高了29.0 g/plant。F_{70}+G比F_{100}处理的玉米子粒产量略有增加,但差异不显著。单施绿肥(F_0+G)处理与不施肥(F_0)相比,子粒产量也无明显差异。

2.2 不同处理对春玉米地上部氮、磷、钾养分吸收量的影响

不同处理对春玉米氮素吸收具有显著影响(图2A)。与F_0处理相比,F_{70}+G、F_{85}+G、F_{100}+G和F_{100}均能显著提高春玉米地上部氮素的吸收,且以F_{85}+G处理最高,其地上部吸氮量达到3.49 g/plant,且显著高于F_{100}处理,比F_{100}增加0.65 g/plant,增加了23.1%。F_{100}+G处理比F_{100}玉米地上部氮素吸收量增加了0.35 g/plant,增幅为12.3%,而F_{70}+G处理的玉米地上部氮素吸收量与F_{100}相比却有所下降,但二者之间差异不明显。结果说明,翻压绿肥后,在农民习惯施肥的基础上减施15%~30%的化肥不会影响玉米的氮素吸收。不施肥(F_0)和单施绿肥(F_0+G)处理玉米地上部吸氮量没有明显差异。

不同处理下春玉米地上部磷素吸收量的高低顺序为F_{85}+G>F_{100}>F_{70}+G>F_{100}+G>F_0>F_0+G(图2B)。与F_0处理比较,F_{85}+G、F_{100}、F_{70}+G和F_{100}+G 4个处理的春玉米地上部磷素吸收量分别增加76.1%、66.0%、58.3%和57.6%,4个处理之间地上部磷素吸收量无显著差异。同F_{100}相比,F_{85}+G处理的玉米地上部磷素吸收量增加6.1%,F_{100}+G和F_{70}+G处理分别降低5.1%和4.7%。F_0+G与F_0处理玉米地上部吸磷量差异不显著。

同F_0处理比较,施用化肥或化肥绿肥配施均能提高春玉米地上部钾吸收量(图2C);其中,以F_{85}+G处理地上部吸钾量最高,达到1.69 g/plant,且达5%差异水平。同F_{100}相比,F_{85}+G处理玉米地上部钾素吸收量增加了0.19 g/plant,增幅达12.7%。F_0+G较F_0处理地上部钾素吸收量虽有所降低,但未达差异显著水平。

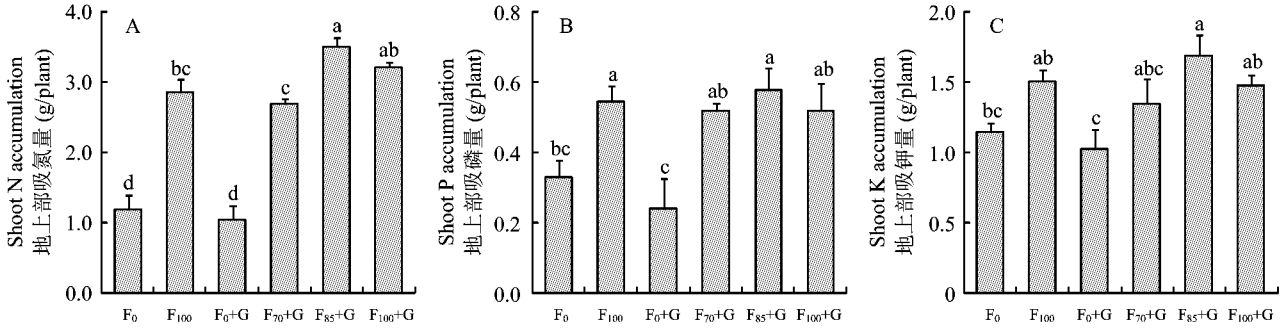

图2 不同施肥处理玉米成熟期氮、磷、钾吸收量

Fig.2 The N, P and K accumulation amounts of maize in different treatments at maturity

[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 at 5% levels.]

2.3 不同处理对春玉米成熟期不同器官氮、磷、钾养分累积与分配的影响

不同处理对成熟期春玉米不同器官氮素累积和分配有显著影响(表3)。同F_0处理比较,F_{70}+G、F_{85}+G、F_{100}+G和F_{100}处理均显著提高了春玉米成熟期叶片、茎秆和子粒中氮素的累积量。对于生殖器官子粒来说,以F_{85}+G处理氮素累积量最高,达到2.40 g/plant,其次为F_{100}+G和F_{100},分别为2.34和2.28 g/plant。同F_0相比,F_{85}+G、F_{100}+G和F_{100}处理玉米子粒氮素累积量分别增加了1.52、1.46和1.40 g/plant,增幅分别为173%、166%和159%。同时,可以看出在叶片和茎秆中均以F_{100}处理的氮素累积量最高,而在子粒中却以F_{85}+G处理最高,并且氮素在子粒中的分配比例为F_{70}+G > F_{85}+G > F_{100} > F_{100}+G。可见,化肥和绿肥配施不仅有利于子粒氮素累积量的提高,也可以促进氮素在各个器官中的合理分配。

表 3　不同处理对春玉米成熟期不同器官氮素累积与分配率的影响

Table 3　Effect of different treatments on N accumulation and distribution in spring-maize at maturity

处理 Treatment	氮素累积量 N accumulation (g/plant)			分配率 Distribution rate (%)		
	叶片 Leaves	茎秆 Stems	子粒 Kernels	叶片 Leaves	茎秆 Stems	子粒 Kernels
F_0	0.19 c	0.11 c	0.88 b	16.42 ab	10.34 a	73.19 bc
F_{100}	0.55 a	0.36 a	2.28 a	15.04 ab	9.79 a	74.92 ab
F_0 + G	0.18 c	0.10 c	0.75 b	19.35 a	10.13 a	70.89 c
F_{70} + G	0.39 b	0.24 b	2.04 a	13.78 b	8.05 a	78.17 a
F_{85} + G	0.52 ab	0.32 ab	2.40 a	14.02 b	9.44 a	76.13 ab
F_{100} + G	0.51 ab	0.34 ab	2.34 a	15.15 b	10.09 a	74.36 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 among treatment at the 5% level.

化肥和绿肥配施及单施化肥均显著增加春玉米子粒中的磷素累积量,对叶片和茎秆中磷素累积量的增加效果不明显(表 4)。同 F_0 处理比较,F_{70} + G、F_{85} + G、F_{100} + G 和 F_{100}处理子粒磷素累积量的增加量分别为 0.19、0.25、0.20 和 0.22 g/plant,增幅分别为 76%、100%、80% 和 88%。从磷素在各个器官中的分配比例来看,同不施肥和单施绿肥(F_0、F_0 + G)比较,施用化肥或化肥与绿肥配施能显著增加磷素在生殖器官子粒中的分配比例;而同习惯施肥处理(F_{100})相比,在翻压绿肥后,不同比例减施化肥并没有影响磷素在各器官中的累积量及分配比例。

表 4　不同处理对春玉米成熟期不同器官磷素累积与分配的影响

Table 4　Effect of different treatments on P accumulation and distribution in spring-maize at maturity

处理 Treatment	磷素累积量 P accumulation (g/plant)			分配率 Distribution rate (%)		
	叶片 Leaves	茎秆 Stems	子粒 Kernels	叶片 Leaves	茎秆 Stems	子粒 Kernels
F_0	0.039 a	0.039 a	0.25 b	11.52 b	11.46 a	77.03 b
F_{100}	0.044 a	0.031 a	0.47 a	8.71 bc	5.92 b	85.37 a
F_0 + G	0.031 a	0.031 a	0.18 b	13.52 a	13.11 a	73.37 b
F_{70} + G	0.057 a	0.023 a	0.44 a	12.21 a	4.70 b	83.09 a
F_{85} + G	0.043 a	0.029 a	0.50 a	7.72 bc	5.19 b	87.08 a
F_{100} + G	0.037 a	0.027 a	0.45 a	7.09 bc	5.22 b	87.69 a

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 among treatment at the 5% level.

不同施肥处理主要影响钾素在玉米叶片和子粒中的累积与分配(表 5),同 F_0 处理比较,单施化肥或化肥和绿肥配施均能显著增加叶片和子粒中钾素的累积量。叶片中以 F_{100}处理钾素累积量最高,化肥减量 30% 或不施化肥处理均显著降低了叶片中的钾素累积量,而且,化肥减量 15%～30% 后,叶片中钾素的分配比例也显著降低。而在子粒中,与习惯施肥相比,化肥减量 15%～30% 并翻压绿肥后,钾素累积量和分配均无明显变化。

表5 不同处理对春玉米成熟期不同器官钾素累积与分配的影响

Table 5 Effect of different treatments on K accumulation and distribution in spring-maize at maturity

处理 Treatment	钾素累积量 K accumulation (g/plant)			分配率 Distribution rate (%)		
	叶片 Leaves	茎秆 Stems	子粒 Kernels	叶片 Leaves	茎秆 Stems	子粒 Kernels
F_0	0.08 d	0.64 a	0.32 b	8.04 d	61.97 a	29.99 b
F_{100}	0.41 a	0.66 a	0.64 a	23.82 a	39.18 b	37.00 a
F_0+G	0.12 cd	0.55 a	0.25 b	13.03 cd	59.62 a	27.35 b
$F_{70}+G$	0.22 bc	0.62 a	0.70 a	14.45 bc	40.30 b	45.25 a
$F_{85}+G$	0.30 ab	0.83 a	0.82 a	15.58 b	42.71 b	41.71 a
$F_{100}+G$	0.32 ab	0.77 a	0.59 a	19.26 bc	44.51 b	36.23 a

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 among treatment at the 5% level.

3 讨论与结论

近年来华北地区较多种植一季春玉米,导致该地区出现了较大面积的冬季休闲土地。利用秋、冬、春季种植二月兰,可以很好地解决土地冬季裸露问题,有利于缓解京、津、冀等地区冬季环境压力。特别是二月兰可以在春季快速返青、抽薹、开花,其生物量大、花期长,不仅可以美化环境,而且翻压利用也为农田提供了大量清洁有机物来源,是值得在本地区大力发展的改善环境、培肥土壤的创新措施。本研究针对这种新模式,探讨了在当地习惯施肥基础上、种植翻压二月兰后玉米减量施肥措施对春玉米产量及养分吸收的影响。

3.1 绿肥种植翻压条件下,适量减施化肥并不降低春玉米产量

本试验进一步验证了绿肥与化肥配施能够提高春玉米子粒产量。种植翻压绿肥配施化肥是有机无机配合的重要形式之一,是我国多年农业稳产高产的实践总结。与 Astier 等[8]的结果类似,在不供氮的情况下,翻压或覆盖豌豆和燕麦两种不同的绿肥均显著提高了玉米子粒产量、茎秆干重和总生物量,且豌豆效果优于燕麦。其他学者也指出,在翻压一定量的紫云英的基础上,减施部分化肥能够保证水稻养分吸收量的增加和产量的提高[9-11]。谢树果等[12]也指出绿肥翻压与化肥减量配施对玉米增产效果明显,绿肥翻压 7 500 ~ 15 000 kg/hm^2,与70%、85%化肥配施的资源效益最高,比单施化肥增产 13.7% ~ 17.3%,提高效益 800 ~ 1381Yuan/hm^2。绿肥与化肥配施能够增加作物产量的原因可能因绿肥种类而异。豆科绿肥在生长期间可通过根瘤菌固定氮素,其增产效应明显;如紫云英翻压还田后对水稻的增产效应大于油菜和黑麦草还田[13]。而对于非豆科绿肥而言,其增产效应可能在于有机无机配合以及对土壤理化性状的改善,如降低耕层土壤容重、增加土壤饱和导水率等[14];增加了土壤有机质、全氮、速效磷、速效钾含量,改善土壤通气性、保水、保肥性,从而调控土壤的供肥性能,协调作物的养分需求。

试验表明,在翻压绿肥后,随着化肥用量的升高,春玉米产量有先升高后降低的趋势,且以绿肥配施85%量的化肥处理($F_{85}+G$)最高,并显著高于农民习惯施肥(F_{100})处理。与 $F_{85}+G$ 比较,习惯施肥量并配施绿肥处理($F_{100}+G$)的生物量、子粒产量、氮、磷、钾养分吸收量没有明显差异,说明化肥减量15%($F_{85}+G$)仍能够满足春玉米的养分吸收和生长需求。并且,与 F_{100} 相比,减施30%的化肥并配施绿肥处理($F_{70}+G$)的生物量和养分吸收量虽略有降低,但差异不显著,因此,翻压绿肥后配施化肥,应当充分考虑化肥用量。由于二月兰碳氮比较低,翻压后比较容易矿化[15-16],在玉米地里埋压125d后,腐解率为76.4%,氮、磷、钾养分的释放率分别达到88.9%、84.80%和96.8%[16]。在本试验条件下,翻压二月兰(鲜重)10178.0 ~ 19053.8 kg/hm^{2}后(带入氮素 48.0 ~ 89.6 kg/hm^2),在玉米生长季内可释放氮素 42.6 ~ 79.8 kg/hm^2。因此,减量15% ~ 30%的化肥(减氮 33.8 ~ 67.5 kg/hm^2)后,依靠绿肥矿化提供的养分,可部分替代减量的化肥,满足玉米生长需求。从作物生产和环境效益角度出发,较习惯施肥(F_{100})减量15% ~ 30%并配施绿肥较为合理。

尽管翻压绿肥可替代部分化肥，但前人研究表明，若单翻压绿肥会导致土壤中氮素矿化不足，或者氮素矿化与玉米吸收不同步[17]。本研究中，与不施肥对照相比，单翻压绿肥（F_0 + G）处理的春玉米生物量、产量、养分吸收等均无明显差异。其可能的原因，一是在不施用化肥的情况下，经过 2008 ～ 2010 年连续两次二月兰—春玉米轮作后，F_0 + G 处理的二月兰产量非常低，翻压后带入的养分量也较低（表 2）；同时，与 F_0 相比，F_0 + G 处理的速效磷、速效钾含量下降，而且，试验地块不同处理土壤有机质、全氮含量仅分别为 4.98 ～ 5.42 g/kg、0.29 ～ 0.33 g/kg（表 1），处于较低水平。二是，二月兰为非豆科作物，其生长期间基本没有固氮作用，导致土壤缺氮，翻压后氮素的矿化与玉米吸收不协调，进而影响玉米的生长和氮素吸收。因此，绿肥翻压需配施一定量的化肥，才能充分发挥其效应。

3.2　绿肥种植翻压条件下，适量减施化肥能有效提高春玉米的养分吸收，保障子粒养分含量

翻压绿肥能够促进春玉米地上部对氮、磷养分的累积，同 F_{100} 相比，F_{85} + G 处理地上部氮、磷累积量分别增加了 23.1% 和 5.1%；并且翻压绿肥增加了子粒中氮素的累积量、提高了磷素在子粒中的分配比例。其他学者也指出种植翻压绿肥能够提高土壤氮、磷对下一茬作物的有效性[18-19]。

高品质的有机物投入，能够通过向粮食作物的短期循环系统中快速释放养分来促进作物养分的高效利用[20]。种植翻压绿肥后，土壤活性有机质快速转化，养分释放与作物养分需求保持同步，协调了土壤供肥能力同作物养分吸收的关系。本试验表明，化肥绿肥配施能够促进春玉米地上部养分的吸收和利用，并且，在翻压等量绿肥的情况下，随着化肥用量的升高，春玉米地上部对氮、磷、钾养分的吸收均表现为先升高后下降的趋势，以 F_{85} + G 处理养分吸收量最高；氮、磷、钾养分在子粒中的累积量也均以 F_{85} + G 处理最高，就分配比例而言，子粒中氮、钾的分配比例以 F_{70} + G 处理最高。由此看出，绿肥的翻压必须配以合理的化肥用量，化肥减量 15% ～ 30% 可以促进春玉米氮、磷、钾养分的吸收，使更多的养分在生殖器官（子粒）中累积，更合理地分配养分在各器官中的比例，从而提高肥料利用率。其他学者也指出，有机无机配施能够降低烤烟茎秆中氮、磷、钾的分配比例[21]。

3.3　绿肥种植翻压条件下，适量减施化肥后的生态环境效益

绿肥翻压与化肥减量配施具有显著的生态环境效益。化肥减量 15% ～ 30% 不仅节省了生产成本，同时也可在一定程度上减轻化肥过量施用带来的一系列环境问题，如减少水稻田氨挥发[22]、减少土壤硝态氮的淋洗等[23-25]。Becker 等[26]指出，施用绿肥，氮素损失仅为 14%，远远低于化肥氮 35% 的损失，可以降低环境污染。Hooker 等[25]也提出，绿肥在降低硝酸盐淋洗等养分损失方面具有较好的效果，绿肥还田后，整个冬季土壤溶液中硝酸盐浓度降低了 38% ～ 70%，总氮的损失降低约 18% ～ 83%。而在 Glasener 等[27]提出来源于绿肥作物的氮素能够在土壤中滞留更长时间之后，Zotarelli 等[28]研究表明，增加肥料氮素在土壤中的滞留时间，能够促进玉米的生长，增加产量、氮素吸收量及肥料利用效率，从而降低根层氮素淋洗造成的损失。而在华北地区引入二月兰，解决土地冬季裸露问题，能更好地减少氮素损失，减轻环境负担，但二月兰在环境效益方面的潜力尚需进一步探索。

本研究分析了冬绿肥—春玉米体系内种植翻压二月兰后玉米产量和养分吸收与分配的变化，种植翻压二月兰配施适量化肥能够提高春玉米生物量和产量、增加地上部养分累积量，促进养分在春玉米营养器官和生殖器官之间的合理分配，为二月兰作为绿肥在该地区的发展和推广提供了一定的理论支撑。二月兰—春玉米轮作体系作为一种华北地区的创新种植制度，对于该体系内玉米产量的稳定性、高产高效潜力的挖掘以及二月兰作为绿肥对生态环境的贡献值得进一步通过长期定位试验进行探索和评价。

参 考 文 献：

[1]　张福锁，王激清，张卫峰，等. 中国主要粮食作物肥料利用率现状与提高途径[J]. 土壤学报，2008，45(5)：915-924.
Zhang F S, Wang J Q, Zhang W F *et al*. Nutrient use efficiencies of major cereal crop in China and measures for improvement[J]. Acta. Pedol. Sin., 2008, 45(5): 915-924.

[2]　刘学军，赵紫娟，巨晓棠，张福锁. 基施氮肥对冬小麦产量、氮肥利用率及氮平衡的影响[J]. 生态学报，2002，22(7)：1122-1128.
Liu X J, Zhao Z J, Ju X T, Zhang F S. Effect of N application as basal fertilizer on grain yield of winter wheat, fertilizer N recovery and balance[J]. Acta. Eco1. Sin., 2002, 22(7): 1122-1128.

[3]　曹卫东，黄鸿翔. 关于我国恢复和发展绿肥若干问题的思考[J]. 中国土壤与肥料，2009，(4)：1-3.
Cao W D, Huang H X. Ideas on restoration and development of green manures in China[J]. China Soils Ferti., 2009, (4): 1

-3.

[4] 赵秋，高贤彪，吴迪，曹卫东. 越冬绿肥二月兰耐盐能力及在盐碱耕地上的培肥效果[J]. 中国土壤与肥料，2010，(4)：65-68.
Zhao Q, Gao X B, Wu D, Cao W D. Salt tolerance of winter green manure *Orychophragmus violaeeus* and its fertilizer effect in the saline-alkali arable land[J]. China Soils Fert., 2010, (4): 65-68.

[5] 魏力军，刘晓辉. 二月兰根系发育形态学研究[J]. 植物研究，1995，15(3)：377-381.
Wei L J, Liu X H. Study on development morphology of *Orychophragmus violaceus* root system[J]. Bull. Bot. Res., 1995, 15(3): 377-381.

[6] 刘佳，曹卫东，荣向农. 华北越冬绿肥作物二月兰生长特征的研究[J]. 中国土壤与肥料，2010，(5)：77-81.
Liu J, Cao W D, Rong X N. Study on growth characteristics of *Orychophragmus violaceus* in North China[J]. China Soils Fert., 2010, (5): 77-81.

[7] 刘佳，曹卫东，荣向农，等. 华北冬绿肥作物二月兰的营养特征研究[J]. 中国土壤与肥料，2012，(1)：78-82.
Liu J, Cao W D, Rong X N *et al.* Nutritional characteristics of *Orychophragmus violaceus* in North China[J]. China Soils Fert., 2012, (1): 78-82.

[8] Astier M, Maass J M, Etchevers-Barra J D *et al.* Short-term green manure and tillage management effects on maize yield and soil quality in an Andisol[J]. Soil Till. Res., 2006, 88: 153-159.

[9] 吕玉虎，潘兹亮，王琴. 翻压紫云英后化肥用量对稻田养分动态变化及产量效应的影响[J]. 中国农学通报，2011，27(3)：174-178.
Lü Y H, Pan Z L, Wang Q. Effects of different amount of chemical fertilizer usage under ploughing down milk vetch on the yield and the dynamics of soil nutrients in rice filed[J]. Chin. Agric. Sci. Bull., 2011, 27(3): 174-178.

[10] 刘春增，李本银，吕玉虎，等. 紫云英还田对土壤肥力、水稻产量及其经济效益的影响[J]. 河南农业科学，2011，40(5)：96-99.
Liu C Z, Li B Y, Lü Y H *et al.* Effect of incorporation of astragalus sinicus on soil fertility, rice yield and economic efficiency[J]. J. Henan Agric. Sci., 2011, 40(5): 96-99.

[11] 徐昌旭，谢志坚，曹卫东，等. 翻压绿肥后不同施肥方法对水稻养分吸收及产量的影响[J]. 中国土壤与肥料，2011，(3)：35-39.
Xu C X, Xie Z J, Cao W D *et al.* Effects of different fertilizing methods on absorption and utilization of nutrient of rice plants under reducing the amount of mineral fertilizer after turning under Chinese milk vetch[J]. China Soils Fert., 2011, (3): 35-39.

[12] 谢树果，韩文斌，冯文强，等. 豆科绿肥对四川丘陵旱地作物的产量及经济效益初探[J]. 中国土壤与肥料，2010，(5)：82-85.
Xie S G, Han W B, Feng W Q *et al.* The preliminary study on the effect of leguminous green manure on crop yield and economic benefits in hilly dry of Sichuan[J]. China Soils Fert., 2010, (5): 82-85.

[13] 高菊生，曹卫东，董春华，等. 长期稻-稻-绿肥轮作对水稻产量的影响[J]. 中国水稻科学，2010，24(6)：672-676.
Gao J S, Cao W D, Dong C H *et al.* Effects of long term rice-rice-green manure rotation on rice yield[J]. Chin. J. Rice Sci., 2010, 24(6): 672-676.

[14] Mandal U K, Singh G, Victor U S *et al.* Green manuring: its effect on soil properties and crop growth under rice-wheat cropping system[J]. Eur. J. Agron., 2003, 19: 225-237.

[15] 朱祖祥. 从绿肥的起爆效应探讨它的肥效机制及其在施用上的若干问题[J]. 浙江农业科学，1963，(3)：104-109.
Zhu Z X. Investigate on the mechanism of green manure fertility from priming effect and some aspects of green manure application[J]. J. Zhejiang Agric. Sci., 1963, (3): 104-109.

[16] 刘佳. 二月兰的营养特性及其绿肥效应研究[D]. 北京：中国农业科学院硕士学位论文，2010.
Liu J. Study on nutrition characteristics and green manure effects of *Orychophragmus Violaceus*[D]. Beijing: Ms thesis of Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2010.

[17] Salmeron M, Carvero J, Quilez D *et al.* Winter cover crops affect monoculture maize yield and nitrogen leaching under irrigated mediterranean conditions[J]. Agron. J., 2010, 102: 1700-1709.

[18] McRae R J, Mehuys G R. The effect of green manuring on the physical properties of temperate-area soils[J]. Adv. Soil Sci., 1985, 3: 71-94.

[19] McVay K A, Radcliffe D E, Hargrove W L. Winter legume effects on soil properties and nitrogen fertilizer requirement[J]. Soil Sci. Soc. Am. J. 1989, 53: 1856-1862.

[20] Sanchez P A, Palm C A, Szott L T *et al.* Organic input management in tropical agro ecosystems[A]. Coleman D C, Oades J M, Uehara G. Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems[C]. Honolulu: University of Hawaii Press. 1989.

[21] 唐莉娜，熊德中. 有机无机肥配施对烤烟氮磷钾营养分配及产量和质量的影响[J]. 福建农业学报，1999，14(2)：50-55.
Tang L N, Xiong D Z. Effect of combining application of organic-chemical fertilizers on the NPK distribution and yield and the quality of tobacco leaves[J]. Fujian J. Agric. Sci., 1999, 14(2): 50-55.

[22] 李菊梅，徐明岗，秦道珠，等. 有机肥无机肥配施对稻田氨挥发和水稻产量的影响[J]. 植物营养与肥料学报，2005，11(1)：51-56.
Li J M, Xu M G, Qin D Z *et al.* Effects of chemical fertilizers application combined with manure on ammonia volatilization and rice yield in red paddy soil[J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2005, 11(1): 51-56.

[23] 郭胜利，余存祖，戴鸣钧. 有机肥对土壤剖面硝态氮淋失影响的模拟研究[J]. 水土保持研究，2000，7(4)：123-126.
Guo S L, Yu C Z, Dai M J. Simulated test of effects of organic manure on leaching of NO_3^--N in soil profile[J]. Res. Soil Water Conserv., 2000, 7(4): 123-126.

[24] 宁建凤,邹献中,杨少海,等. 有机无机氮肥配施对土壤氮淋失及油麦菜生长的影响[J]. 农业工程学报,2007,23(11):95-100.
Ning J F, Zou X Z, Yang S H *et al*. Effects of combined application of organic and inorganic nitrogen fertilizer on the soil nitrogen leaching and the growth of leaf-used lettuce[J]. Trans. Chin. Soc. Agric. Eng., 2007, 23(11): 95-100.

[25] Hooker K V, Coxon C E, Hackett R *et al*. Evaluation of cover crop and reduced cultivation for reducing nitrate leaching in Ireland[J]. J. Environ. Qual., 2008, 37: 138-145.

[26] Becker M, Ladha J K, Ali M. Green manure technology: potential, usage and limitations. A case study for lowland rice [J]. Plant Soil, 1995, 174: 181-194.

[27] Glasener K M, Wagger M G, MacKown C T, Volk R J. Contributions of shoot and root nitrogen-15 labeled legume nitrogen sources to a sequence of three cereal crops[J]. Soil Sci. Soc. A. J., 2002, 66: 523-530.

[28] Zotarelli L, Scholberg J M, Dukes M D, Munoz-Carpena R. Fertilizer residence time affects nitrogen uptake efficiency and growth of sweet corn[J]. J. Environ. Qual., 2008, 37: 1271-1278.