

# 翻压二月兰对玉米干物质积累和养分吸收 及土壤养分的影响

杨璐<sup>1</sup>,曹卫东<sup>2,3</sup>,白金顺<sup>2</sup>,曾闹华<sup>2</sup>,高嵩涓<sup>1</sup>,常单娜<sup>1</sup>,志水胜好<sup>4</sup>

(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,青海 西宁 810016;4. 筑波大学 生命环境系,日本 茨城县 305-8572)

**摘要:** 采用盆栽试验,研究了翻压二月兰作绿肥对玉米生长、养分吸收及土壤肥力的影响。试验设 CK(不施肥)、不同翻压量绿肥(50% G、G)、单施全量化肥(F)和绿肥与化肥配施(G+F)5个处理。结果表明,绿肥有一定的养分供应能力,翻压绿肥后玉米生物量、籽粒产量、养分吸收量显著提高,并随绿肥翻压量增加而增加。单翻压绿肥能满足玉米拔节期以前的生长需求,50% G和G处理玉米在拔节期的生物量、氮磷钾吸收量均与F及G+F处理相似。绿肥化肥配施可进一步促进玉米养分吸收,提高玉米产量,G+F处理成熟期玉米整株氮、磷、钾吸收量比F处理分别增加了10.8%、28.1%、45.8%,籽粒产量提高了9.1%。绿肥有促进玉米根系生长及提高磷、钾养分吸收能力的效果,单施绿肥以及绿肥与化肥配施后,玉米根系生物量、根冠比提高,对磷钾的相对吸收量明显高于对氮的相对吸收量。仅翻压绿肥后种植玉米对土壤无机氮和速效磷有明显的耗竭,绿肥化肥配施后土壤无机氮、速效磷、速效钾显著提高,说明绿肥化肥配施可有效改善土壤养分状况。

**关键词:** 二月兰;绿肥;玉米;干物质积累;养分吸收;土壤养分

**中图分类号:** S143 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7091(2014)01-0183-07

## Effects of February Orchid Application on Dry Matter Accumulation and Nutrient Uptake in Maize and Soil Nutrient Status

YANG Lu<sup>1</sup>, CAO Wei-dong<sup>2,3</sup>, BAI Jin-shun<sup>2</sup>, ZENG Nao-hua<sup>2</sup>, GAO Song-juan<sup>1</sup>,  
CHANG Dan-na<sup>1</sup>, SHIMIZU Katsuyoshi<sup>4</sup>

(1. Graduate School of 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 Agricultural and Forestry, Qinghai University, Xining 810016, China;

4. Faculty of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba, Ibaraki-ken 305-8572, Japan)

**Abstract:** A pot experiment was conducted to investigate the effects of incorporation February Orchid, applied as green manure, on dry matter accumulation and nutrient uptake in maize and soil nutrient status. There were five treatments, control, two green manure incorporation rates (50% G and G), conventional fertilizer application rate (F) and green manure combined with fertilizer (G+F) in the experiment. The results showed that green manure application could supply a certain amount of nutrients. The biomass, grain yield and nutrient uptake of maize were significantly increased after green manure application, and were enhanced with the application rates as well. The biomass and N, P, K absorption in the treatments of 50% G and G were similar to those in F and G+F at jointing stage, indicating that sole green manure applications could satisfy the normal growth of maize before jointing. Com-

收稿日期:2013-08-21

**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(2012-019);作物种质资源保护和利用项目(NB2013-2130135-34)

**作者简介:** 杨璐(1987-),女,湖北安陆人,硕士,主要从事绿肥作物生产与利用方面的研究。

**通讯作者:** 曹卫东(1968-),男,安徽贵池人,研究员,博士,主要从事绿肥利用与清洁农业生产研究。

pared with the F treatment, green manure combined with fertilizer application could further benefit the nutrient uptake and the grain yield of maize, i. e., the G + F treatment increased the N, P, K uptake of maize at maturity by 10.8%, 28.1%, 45.8%, respectively, and increased the yield by 9.1%. Green manure application might have effects on the root growth and P, K uptake of maize, resulting in that root biomasses and root to shoot dry weight ratios were increased and relative P and K absorption rates were higher than N absorption rate in all treatments incorporated with green manure. Treatments with sole green manure (50% G and G) depleted the soil  $N_{min}$  and Olsen-P, while the soil  $N_{min}$ , Olsen-P, and  $NH_4OAc-K$  were enhanced remarkably in the G + F treatment, showing that green manure combined with fertilizer application could effectively improve the soil nutrient status.

**Key words:** February Orchid; Green manure; Maize; Dry matter accumulation; Nutrient uptake; Soil nutrient

绿肥作为我国传统农业的精华,是重要的养分供应和土壤培肥方式;当前更多地被作为一种生物调控手段,在作物高产稳产和环境保护方面发挥着极其重要的作用<sup>[1-4]</sup>。大量研究表明,绿肥在培肥土壤、改善土壤理化性质、提高后茬作物产量与品质、保持水土、防风固沙、净化环境等方面有着良好的功效,更有固氮吸碳和节能减耗的作用<sup>[1,5-6]</sup>;并且绿肥可部分代替化肥,在降低农田化肥过量投入的同时,与化肥配施后对作物产量和养分吸收都有着显著的影响<sup>[7-9]</sup>。

华北地区大田栽培作物大多一年一熟,冬季休闲土地面积近  $2 \times 10^6$   $hm^2$ ,造成光热资源和土地资源闲置和浪费的同时,还容易引起土壤干燥、风蚀增强、表土流失和扬尘等生态问题,对周围城市的环境造成压力;近年来,在冬季种植覆盖绿肥作物成为缓解该问题的有效措施<sup>[1,10]</sup>。针对上述问题,二月兰-春玉米的生产模式被构建。该技术模式利用二月兰 (*Orychophragmus violaceus* L.) 在华北地区的良好越冬性,研发了针对性的二月兰播种管理措施,达到了春玉米收获后至翌年玉米播种前覆盖农田地表的效

果。此模式不仅很好地解决了华北地区冬春季节农田土壤裸露问题,有效改善华北地区冬春季节生态环境,还可以将二月兰翻压作为绿肥,因此其综合应用潜力巨大。由此,二月兰也成为华北地区主要绿肥品种,对其生长特性和营养特性的研究已相对清楚<sup>[11-12]</sup>;将绿肥种植及翻压利用引入玉米种植体系后,必然对玉米的生长、养分积累及土壤肥力产生一定影响,但翻压二月兰后的供肥能力评价以及不同二月兰翻压量对玉米生长的影响目前鲜有报道。为此,本试验探讨了翻压绿肥二月兰对于玉米不同时期干物质积累和养分吸收、土壤养分含量的影响,以期对二月兰作为绿肥翻压的效果评价及进一步发挥其生态环境效益提供理论依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验设计

试验于 2012 年 4-9 月在中国农业科学院万庄试验站旱棚内进行。盆栽土壤采自该试验站农田耕层土壤,风干、处理后,测定其基本理化性状如表 1。

表 1 盆栽土壤基本理化性状

Tab. 1 The basic properties of experimental soil

pH	电导率/( $\mu S/cm$ ) Conductivity	有机质/( $g/kg$ ) OM	全氮/( $g/kg$ ) Total N	无机氮/( $mg/kg$ ) $N_{min}$	速效磷/( $mg/kg$ ) Olsen-P	有效钾/( $mg/kg$ ) $NH_4OAc-K$
8.87	72.7	5.31	0.37	7.11	6.90	65.19

采用盆栽试验,共设 5 个处理:不施肥对照 (CK)、翻压低量绿肥 (50% G)、翻压高量绿肥 (G)、单施全量化肥 (F)、绿肥与化肥配施 (G + F),重复 4 次。

绿肥品种为二月兰,化肥种类为尿素、过磷酸钙、硫酸钾,于 4 月 17 日进行翻压绿肥 (盛花期) 和施用化肥处理。每盆装 10 kg 风干土,对照不施氮、不翻压绿肥,50% G 和 G 处理每盆翻压绿肥 (鲜质量) 分别为 100, 200 g, F 处理每盆的化肥施用量为 2 g N, 1 g  $P_2O_5$ , 1 g  $K_2O$ , 均作为底肥一次施入。绿肥翻压时二月兰养分含量 (占干质量) 分别为全氮

3.39%、全磷 0.34%、全钾 3.32%, 高量绿肥处理 (200 g 二月兰) 带入的养分量 (折合为  $N$ 、 $P_2O_5$ 、 $K_2O$ ) 分别为 0.94, 0.22, 1.11 g, 50% G 为高量绿肥处理一半。

供试玉米品种为郑单 958, 翻压绿肥后 10 d 播种,播种时每盆 5 粒种子,并在玉米三叶期定植为 1 株。在玉米全生育期内,称重控制含水量在田间持水量的 60% ~ 70%。

### 1.2 测定项目与方法

在拔节期 (6 月 16 日)、吐丝期 (7 月 20 日) 和成熟期 (8 月 30 日) 取样,分别取根系、茎 + 叶、籽

粒。采集玉米根系时,用自来水冲洗,刷子轻刷去除粘附的土壤。植株样品 105 ℃ 杀青 30 min, 70 ℃ 烘干,称重、粉碎。浓  $\text{H}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}_2$  消煮,AA3 流动分析仪测定全 N、全 P 含量,WFX-100 原子发射仪测定全 K 含量。

取完植物样后的土壤挑去植物残渣,过 2 mm 筛,取鲜土测定含水量,用 2 mol/L KCl 浸提测定无机氮 ( $\text{N}_{\min}$ );土样风干后过 1 mm 筛,测定速效磷 (Olsen-P) 和速效钾 ( $\text{NH}_4\text{OAc}$  浸提)。

### 1.3 数据处理

试验数据经 Microsoft Excel (2007) 处理后,采用 SPSS 统计软件进行分析,LSD 法检验差异显著性,Sigmaplot 10.0 作图。

## 2 结果与分析

### 2.1 翻压二月兰对玉米干物质积累的影响

2.1.1 翻压二月兰对玉米地上部生物量和产量的影响 翻压二月兰、二月兰与化肥配施以及单施化肥对玉米地上部生物量有明显影响,各处理间表现出较大差异(表 2)。在拔节期(第 50 天),各施肥处理间地上部生物量差异不大,且 2 个单施绿肥处理地上部生物量较高,表明绿肥在此时期能够满足玉米养分需求。随着时间推移,到吐丝期,单施绿肥处理的养分供应明显不足,表现为地上部生物量低于 F 和 G + F 处理。成熟期,各处理间地上部生物量差异进一步扩大,高低顺序为 G + F、F、G、50% G、CK,差异均达到显著水平。从表 2 还可以看出,翻压高量绿肥比低量绿肥显著提高了玉米生物量,至成熟期,G 比 50% G 茎叶生物量增加 12.8 g/株(28.9%),地上部总生物量增加了 24.1 g/株(33.5%)。

表 2 不同施肥处理对春玉米生物量、籽粒产量及根冠比的影响

时期 Stages	部位 Items	CK	50% G	G	F	G + F
拔节期 Jointing	地上部	7.74 ± 1.01b	12.21 ± 1.03a	13.38 ± 0.32a	10.66 ± 0.80ab	8.81 ± 1.13b
	根系	2.41 ± 0.28b	3.19 ± 0.17ab	3.55 ± 0.23a	2.76 ± 0.34ab	2.56 ± 0.34b
	根冠比	0.31 ± 0.01a	0.26 ± 0.01b	0.27 ± 0.02ab	0.26 ± 0.02b	0.27 ± 0.01ab
吐丝期 Silking	地上部	33.33 ± 3.50d	54.21 ± 3.01c	64.80 ± 6.39bc	71.92 ± 5.64ab	81.51 ± 4.62a
	根系	5.08 ± 0.28c	7.59 ± 0.54bc	9.70 ± 1.29ab	7.95 ± 0.88bc	12.22 ± 2.41a
	根冠比	0.16 ± 0.01a	0.14 ± 0.01ab	0.15 ± 0.01ab	0.11 ± 0.01c	0.13 ± 0.00bc
成熟期 Maturity	地上部*	41.25 ± 4.29e	71.94 ± 2.25d	96.08 ± 2.58c	158.47 ± 3.74b	172.71 ± 6.5a
	籽粒	5.17 ± 1.76e	27.54 ± 1.11d	38.84 ± 0.60c	91.46 ± 1.78b	99.78 ± 5.63a
	根系	4.91 ± 0.43c	6.60 ± 0.54b	8.07 ± 0.60ab	6.67 ± 0.09b	8.49 ± 0.66a
	根冠比	0.13 ± 0.01a	0.09 ± 0.01b	0.08 ± 0.00b	0.04 ± 0.00c	0.05 ± 0.00c

注:\*.成熟期地上部生物量包含籽粒干质量;表中同一行不同字母表示处理之间差异显著( $P < 0.05$ )。表 3 同。

Note: Grain dry weight was included in shoot biomass at maturity; Different letters at the same row represented significant difference among the treatments ( $P < 0.05$ ). The same as Tab. 3.

表 2 进一步表明,虽然单施绿肥可以促进玉米生物量的增加、显著提高产量,但无论低量绿肥还是高量绿肥,均不能满足玉米全生育期的养分需求,至成熟期,50% G、G 的地上部生物量分别为 71.9、96.1 g/株,分别相当于 F 处理的 45.4%、60.6%;籽粒产量分别为 27.5、38.8 g/株,分别相当于 F 处理的 30.1%、42.5%。在单施化肥的基础上,增施绿肥可以进一步提高玉米地上部生物量和籽粒产量,在成熟期,G + F 处理地上部生物量和籽粒产量分别比 F 处理增加 14.2、8.3 g/株,提高了 9.0%、9.1%。

2.1.2 翻压二月兰对玉米根系生物量和根冠比的影响 不同处理对玉米根系生物量的影响规律与地上部的变化有所不同(表 2)。各处理玉米根系生物量均在吐丝期达到最大值。2 个绿肥翻压量之间,玉米根系生物量随着绿肥翻压量的增加而增加,从拔节到成熟期,高量绿肥比低量绿肥分别增加了 11.5%、27.9%、22.3%,但两处理间差异不显著。值得关注的是,单施绿肥的 2 个处理根系生物量与单施化肥的处理 F 相近甚至略高;而化肥配施绿肥的 G + F 处理在吐丝及成熟期根系生物量均显著高于单施化肥处理,分别增加了 53.7%、27.4%。可见,翻压绿肥可以有效提高根系生物量。

根冠比反映了植物根系与地上部的相互关系。由表 2 可知,随着生育进程的推进,不同处理玉米根冠比均呈下降趋势。在整个生育期内,CK 处理根冠比均为最高,F 处理根冠比最低;拔节期,各施肥处理间无明显差异;吐丝期和成熟期,2 个单施绿肥处理之间无明显差异,但二者均显著高于 F 处理;G + F 与 F 之间差异亦不显著,但与 F 相比,G + F 处理玉米的根冠比有增加趋势。

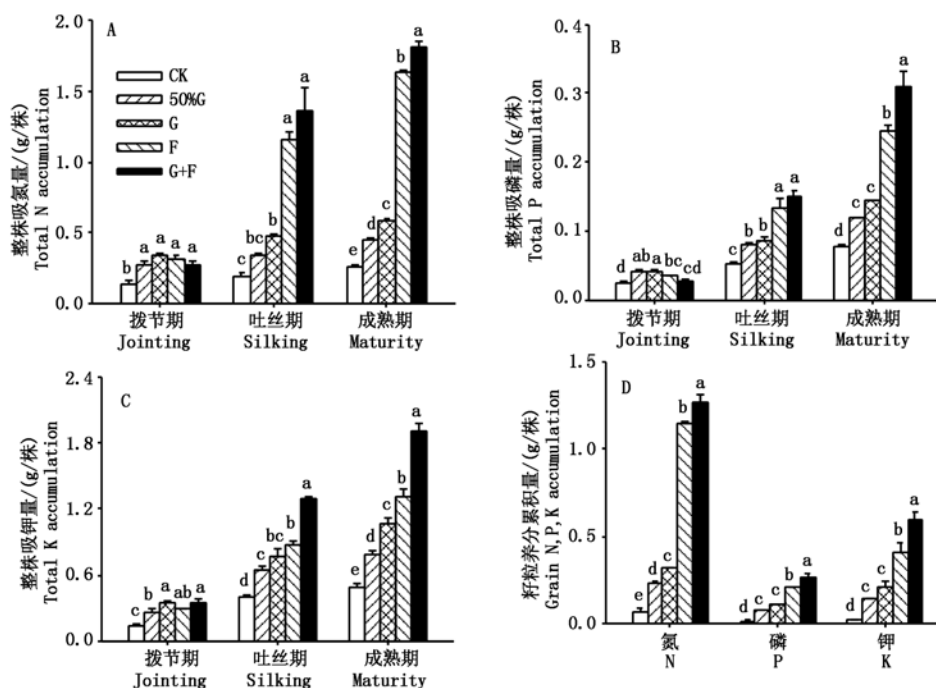
## 2.2 翻压二月兰对玉米氮、磷、钾养分吸收的影响

在整个生育期内,各施肥处理均显著增加了玉米整株吸氮量(图 1-A)。拔节期,各施肥处理间吸氮量基本一致,吐丝期和成熟期则呈现出较大差异。与 CK 处理相比,50% G、G 均显著提高了玉米吸氮量,并随绿肥量的提高而明显增加。拔节、吐丝和成熟期,G 处理比 50% G 处理分别增加了 23.6%,40.0%,32.9%。2 个绿肥处理在拔节期的吸氮量与 F 和 G+F 处理基本一致,说明至此时期(第 50 天),供试绿肥施用量可以满足玉米对氮的需求。但是,F 和 G+F 处理在吐丝期和成熟期的吸氮量显著高于 2 个单施绿肥处理,50% G 和 G 处理的氮素吸收量在吐丝期分别为 F 处理的 29.0%,40.7%,在成熟期分别为 F 处理的 27.3%,36.3%。G+F 处理吐丝期和成熟期氮素累积量比 F 处理分别增加了 0.20,0.18 g/株,增加比例分别为 17.5%,10.8%,其中成熟期差异显著。

不同处理对玉米整株磷素及钾素累积量随生育期的动态变化规律与氮素累积量相似,但各处理间磷、钾相对吸收水平又与氮素明显不同(图 1-B、C)。与 CK 处理相比,50% G 和 G 处理在各生育期的整株吸磷量及吸钾量均显著增加,2 个绿肥翻压量之间磷素吸收量差异不显著,但高量绿肥的钾素吸收量在拔节和成熟期显著高于低量绿肥处理。与氮素累积规律相似,2 个绿肥处理在拔节期的磷、钾吸收量也与 F 和 G+F 处理基本一致,同样说明至此时期

(第 50 天),供试绿肥施用量可以满足玉米对磷、钾的需求。在磷、钾相对吸收量方面,50% G 和 G 处理在吐丝期的磷素吸收量分别相当于 F 处理的 59.7%,64.8%,成熟期则相当于 F 处理的 48.7%,59.3%;2 个处理在吐丝期的钾素吸收量分别相当于 F 处理的 74.7%,89.2%,成熟期分别为 60.3%,81.3%。与 F 处理比较,G+F 处理能明显提高磷素和钾素的相对累积量,其中,成熟期磷素累积量增加了 0.06 g/株,增加比例为 26.5%;钾素累积量在吐丝期和成熟期则分别增加了 48.4%,44.2%。上述结果表明,不仅单施绿肥处理的磷、钾相对吸收水平明显高于氮素的相对吸收水平,绿肥化肥配施以后玉米的磷钾相对吸收水平也较氮素进一步提高,可见翻压绿肥可以更有效地改善玉米对磷、钾的吸收。

不同施肥处理对籽粒养分累积量的影响有着比较一致的规律,均表现为 G+F>F>G>50%G>CK(图 1-D)。绿肥翻压显著提高了 50% G 和 G 处理籽粒养分累积,与 CK 相比,50% G 处理籽粒氮、磷、钾累积量分别增加了 2.4,3.7,5.5 倍,G 处理籽粒氮、磷、钾分别增加了 3.6,5.2,8.9 倍;其中,高量绿肥处理的籽粒吸氮量显著高于低量绿肥处理,磷、钾无明显差异。与 F 相比,G+F 处理玉米籽粒中氮、磷、钾养分累积量分别增加了 10.8%,28.1%,45.8%。从上述结果同样可以看出,翻压绿肥后玉米籽粒对磷、钾的相对吸收量要明显高于对氮的吸收。



图中不同字母代表同生育期内不同处理之间差异显著,  $P < 0.05$ 。

Different letters in each figure within the same stage meant significant difference,  $P < 0.05$ .

图1 不同施肥处理对春玉米整株氮磷钾吸收量(A、B、C)和籽粒养分累积量(D)的影响

Fig.1 Effects of different treatments on maize total N,P and K uptake (A,B and C) and grain N,P,K accumulation amounts

### 2.3 翻压二月兰对土壤养分含量的影响

整个生育期内,土壤无机氮含量表现为化肥绿肥配施(G+F)最高,单施化肥(F)次之,二者远远高于单施绿肥和对照处理(表3)。CK、50%G、G这3个处理的土壤无机氮含量在整个生育期几乎没有变化,且差异不大,均处在最低水平2.0~4.0 mg/kg,表明单独翻压绿肥玉米会对土壤无机氮有明显的耗竭作用。施用化肥或二月兰与化肥配施,均显著地提高了土壤无机氮含量。从表2还可以看出,同F处理相比,G+F处理无机氮含量在拔节期、吐丝期和成熟期分别增加了29.2%,31.2%,116.4%。特别是在成熟期,G+F处理的土壤无机氮含量为24.4 mg/kg,比F处理以及试验前土壤大幅度提高,可见,绿肥化肥配施是提高土壤氮素肥力的有效措施。

与土壤无机氮含量变化相似,整个生育期内,土壤速效磷含量也表现为逐渐下降的趋势,且以G+F处理含量最高,F处理次之,二者均显著高于其他处理(表3)。同CK相比,50%G和G处理土壤速效磷含量均没有明显增加,虽然没有无机氮明显,但单

施绿肥也会造成土壤速效磷的耗竭。单施化肥处理可以有效提高土壤速效磷含量,但与其相比,化肥绿肥配施对土壤速效磷具有更显著的提升效果。在拔节期、吐丝期和成熟期,G+F处理速效磷含量分别比F处理增加了7.8,5.5,1.2 mg/kg,差异均达到显著水平。

整个生育期内,各处理土壤速效钾含量均呈现下降趋势,并且G+F处理土壤速效钾含量显著高于其他处理(表3)。与无机氮和速效磷不同的是,单翻压绿肥处理(50%G和G)显著增加了玉米生育前期土壤速效钾含量,拔节期和吐丝期处理G比CK分别增加了31.9%和32.3%,但在成熟期下降至接近于对照水平。F处理对生育前期土壤速效钾提高有一定贡献,但到成熟期则基本与对照接近。G+F处理对土壤速效钾的影响与F处理差异较大,3个生育期G+F处理土壤速效钾含量均显著高于单施化肥的F处理,说明绿肥化肥配施可以有效提高土壤速效钾含量。

表3 不同施肥处理对玉米不同时期土壤无机氮、速效磷、速效钾含量的影响

Tab.3 Effects of different treatments on soil  $N_{min}$ , Olsen-P and  $NH_4OAc-K$  content

mg/kg

	时期 Stages	CK	50% G	G	F	G + F
无机氮 $N_{min}$	拔节期	2.4 ± 0.1c	3.4 ± 0.5c	4.0 ± 0.3c	110.0 ± 6.1b	142.2 ± 12.5a
	吐丝期	2.0 ± 0.1b	2.1 ± 0.0b	2.3 ± 0.2b	51.4 ± 7.5a	67.4 ± 8.3a
	成熟期	2.3 ± 0.1c	2.6 ± 0.1c	2.7 ± 0.1c	11.3 ± 2.1b	24.4 ± 0.5a
速效磷 Olsen-P	拔节期	13.4 ± 0.9c	14.4 ± 0.2c	15.0 ± 1.0c	36.4 ± 0.4b	44.2 ± 3.8a
	吐丝期	11.7 ± 0.9c	10.2 ± 0.1c	11.3 ± 0.3c	19.1 ± 0.3b	24.6 ± 1.8a
	成熟期	9.3 ± 0.3c	8.8 ± 0.4c	8.2 ± 0.7c	12.6 ± 0.8b	13.8 ± 1.1a
速效钾 $NH_4OAc-K$	拔节期	32.2 ± 0.6e	37.0 ± 1.0d	42.4 ± 1.3c	49.9 ± 1.4b	75.0 ± 1.3a
	吐丝期	28.0 ± 0.6c	29.6 ± 1.3c	37.0 ± 1.9b	36.0 ± 1.0b	45.0 ± 1.5a
	成熟期	29.7 ± 0.4bc	28.3 ± 0.6c	31.5 ± 1.5bc	32.1 ± 1.9b	39.8 ± 0.7a

## 3 讨论与结论

### 3.1 讨论

3.1.1 二月兰具有一定的养分供应能力、与化肥配施能够增加玉米产量和养分累积量 本试验结果表明,翻压二月兰作绿肥可以基本满足玉米生育前期的养分需求,表现为在拔节期(播种后50 d)各施肥处理的生物量及氮、磷、钾吸收量基本一致,但之后明显低于单施全量化肥及绿肥化肥配施处理;同时,绿肥化肥配施可以进一步提高玉米产量和养分累积量。与Astier等<sup>[13]</sup>的研究结果一致,在不供氮的情况下,翻压或覆盖绿肥均显著提高了玉米籽粒产量、茎秆干质量和总生物量。本试验中,干物质的累积受到绿肥翻压量的影响,G处理玉米成熟期茎叶生物量、籽粒产量均显著高于50%G,但二者都没有完

全发挥玉米的产量潜力,其产量仅为F处理的30.1%~42.5%。绿肥与化肥配施后效果最佳,比单施全量化肥增产9.1%,籽粒中氮、磷、钾养分累积量也分别增加10.8%,28.1%,45.8%。其他学者也指出,翻压绿肥可部分替代化肥,即使在减少施用一定量的化肥后,仍可保证作物养分吸收量的增加和产量的提高<sup>[7,14-15]</sup>。翻压非豆科绿肥或与化肥配施能够增加作物产量和养分吸收的原因可能在于有机无机配合的综合效应,即对土壤理化性质<sup>[10,14,16]</sup>、生物学性状<sup>[17]</sup>的改善从而调控土壤的供肥性能,协调作物的养分需求。

3.1.2 二月兰翻压能够促进玉米根系生长 根系是植株吸收水分和养分的主要器官,良好的根系生长、发育状况是保证作物养分吸收的关键因素<sup>[18]</sup>。本研究进一步验证了翻压绿肥对作物根系生长的促

进作用<sup>[19]</sup>,而且不同绿肥翻压量对其影响不同。G处理的玉米根系生物量在整个生育期内比对照显著增加了47.6%~91.2%;这种促进作用的可能原因在于翻压绿肥能够改善土壤理化性状,如增加有机质含量、降低土壤容重等,从而促进根系生长<sup>[19-20]</sup>;土壤物理条件较差时,如土壤压实,会限制根系生长和下扎深度<sup>[21]</sup>;受外界养分供应状况的影响。以氮为例,单施绿肥处理(50% G 和 G)投入的总氮量小于1 g/盆,不足F处理的50%,缺氮时,地上部合成的光合产物更多地向根系中分配,导致根系生物量增加,扩大作物根系觅取水分和养分空间,同时根系向地上部的输氮量不足,地上部生长受阻,引起根冠比增大<sup>[22-23]</sup>。充足供氮时,绿肥与化肥配施处理(G+F)玉米根系生物量比单施全量化肥(F)处理吐丝后明显增加27.3%~53.7%,表明养分供应强度不再是影响根系生长的主要因素,除了绿肥能够改善土壤容重等条件,间接促进根系生长外,还可能是因为绿肥腐解过程中产生了某些中间有机含氮化合物,刺激了根系生长;如土壤中L-谷氨酸作为有机氮源可调控根系形态发生改变<sup>[24]</sup>。因此,翻压绿肥对根系生长的促进作用是外界氮素供应数量、形态、土壤理化性质改善等共同作用的结果。

3.1.3 二月兰翻压配施化肥能够改善土壤养分状况 种植翻压绿肥对土壤有着良好的培肥和改良效果,能够有效提高土壤碱解氮、速效磷、速效钾等养分含量,显著改善土壤容重等其他理化性状<sup>[10,14,24-26]</sup>。和前人研究结果不一致之处在于,本试验中,与不施肥对照(CK)相比,在玉米各生育期,单翻压二月兰处理(50% G 和 G)均没有显著增加土壤中无机氮的含量,但植株吸氮量显著高于对照,可能是二月兰腐解、矿化释放的养分被玉米短期内快速吸收,导致单独翻压绿肥玉米会对土壤无机氮有明显的耗竭作用。Peng等<sup>[27]</sup>研究了华北地区玉米获得最大产量所需的土壤(0~60 cm)临界 $N_{min}$ 浓度,拔节期以前为6.1 mg/kg,拔节到抽雄期为6.7 mg/kg,抽雄到成熟为5.5 mg/kg;本试验中,50% G 和 G 处理在整个生育期内土壤 $N_{min}$ 浓度仅为2.1~4.0 mg/kg,即土壤 $N_{min}$ 含量一直处于临界水平以下,故与对照无异。而单施化肥(F)和绿肥化肥配施(G+F)处理显著提高了无机氮含量,且G+F效果更为显著。因此,绿肥化肥配施是提高土壤氮素肥力的有效措施。与无机氮类似,单翻压绿肥对玉米生长季内速效磷含量同样有耗竭作用,施用无机化肥后提升效果显著,尤其是二月兰与化肥配施后,效果更为明显。一方面,是由于矿化释放的磷素被

玉米快速吸收或被土壤固定,另一方面可能是由二月兰作为绿肥其本身的营养特性所决定的。刘佳等<sup>[12]</sup>的研究表明,二月兰作为绿肥时,其体内氮、钾的累积量较高,而磷的累积量相对较低。所以,二月兰翻压后,土壤中碳磷比发生了改变,可能会引起微生物竞争土壤中的部分速效磷<sup>[28]</sup>。

与前人结果类似,翻压绿肥或其他有机无机配施均能够增加土壤速效钾含量<sup>[29-30]</sup>。本研究进一步证明,与单施化肥或绿肥相比,绿肥与化肥配施处理的提升效果最佳,在玉米生长发育的各个时期,均表现为含量最高。然而,与无机氮和速效磷有所区别的是,即使单翻压绿肥也能明显提高土壤中速效钾的含量,尤其是在拔节期和吐丝期。而土壤中速效钾的状况与作物吸收、土壤固持与解吸、绿肥的矿化等过程相关。二月兰翻压后钾的释放效率最高,翻压后14 d 钾素释放达74.5%,而氮仅为50.0%,磷则没有释放<sup>[31]</sup>。对于其他豆科绿肥也有类似规律,翻压10 d 后钾素几乎释放完毕,释放率达90%以上<sup>[32]</sup>。而在拔节期,玉米钾素吸收量相对较少,绿肥翻压量由50% G 增加一倍后,土壤速效钾含量显著增加,但二者没有保持同比例增长,可能是因为背景土壤速效钾缺乏,绿肥矿化的钾有相当一部分被土壤固持。随着生育期推进,植株钾素吸收量增加,50% G 和 G 土壤中速效钾减少,至成熟期,降至与对照无差异。

### 3.2 结论

本研究结果表明,绿肥有一定的养分供应能力,能够促进玉米根系生长。单施绿肥能满足玉米拔节期以前的生长需求,但对土壤无机氮和速效磷有明显耗竭。绿肥化肥配施可进一步促进玉米养分吸收,提高玉米产量,且绿肥化肥配施后土壤无机氮、速效磷、速效钾显著提高,说明绿肥化肥配施可有效改善土壤养分状况,是一种协调作物生产和环境保护的有效措施。

### 参考文献:

- [1] 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.
- [2] Drinkwater L E, Snapp S S. Nutrients in agroecosystems: rethinking the management paradigm [J]. *Advances in Agronomy*, 2007, 92: 163-186.
- [3] Robertson G P, Swinton S. Reconciling agricultural productivity and environmental integrity: a grand challenge for agriculture [J]. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2005, 3(1): 38-46.
- [4] Snapp S S, Blackie M J, Gilbert R A, et al. Biodiversity

- can support a greener revolution in Africa[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2010, 107(48): 20840 – 20845.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 张久东,包兴国,胡志桥,等. 绿肥与化肥配施对小麦产量和土壤肥力的影响[J]. *干旱地区农业研究*, 2011, 29(6): 125 – 129.
- [9] 李可懿,王朝辉,赵护兵,等. 黄土高原旱地小麦与豆科绿肥轮作及施氮对小麦产量和籽粒养分的影响[J]. *干旱地区农业研究*, 2011, 29(2): 110 – 116, 123.
- [10] 赵 秋,高贤彪,宁晓光,等. 华北地区几种冬闲覆盖作物碳氮蓄积及其对土壤理化性质的影响[J]. *生态环境学报*, 2011, 20(4): 750 – 753.
- [11] 刘 佳,曹卫东,荣向农,等. 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.
- [12] 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.
- [13] 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 & Tillage Research*, 2006, 88(1): 153 – 159.
- [14] 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.
- [15] 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.
- [16] 徐祥玉,王海明,袁家富,等. 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.
- [17] 刘国顺,罗贞宝,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, 20(1): 95 – 98.
- [18] 米国华,陈范骏,吴秋平,等. 玉米高效吸收氮素的理想根构型[J]. *中国科学: 生命科学*, 2010, 40(12): 1112 – 1116.
- [19] 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]. *European Journal of Agronomy*, 2003, 19(2): 225 – 237.
- [20] Boparai B S, Yadvinder S, Sharma B D. Effect of green manure with *Sesbania aculeata* on physical properties of soil and on growth of wheat in rice-wheat and maize-wheat cropping in a semiarid region of India[J]. *International Agrophysics*, 1992, 6(2): 135 – 143.
- [21] Oussible M, Crookston R K, Larson W E. Subsurface compaction reduces the root and shoot growth and grain yield of wheat[J]. *Agronomy Journal*, 1992, 84(1): 34 – 38.
- [22] 任书杰,张雷明,张岁岐,等. 氮素营养对小麦根冠协调生长的调控[J]. *西北植物学报*, 2003, 23(3): 395 – 400.
- [23] Zhang H M, Rong H L, Pilbeam D. Signalling mechanisms underlying the morphological responses of the root system to nitrogen in *Arabidopsis thaliana*[J]. *Journal of Experimental Botany*, 2007, 58(9): 2329 – 2338.
- [24] 巩元勇,瞿小青,宋奇超,等. 谷氨酸调节根系形态建成的研究进展[J]. *中国农业科技导报*, 2011, 13(1): 34 – 43.
- [25] 刘 英,王允青,张祥明,等. 种植紫云英对土壤肥力和水稻产量的影响[J]. *安徽农学通报*, 2007, 13(1): 98 – 99, 189.
- [26] 王 琴,张丽霞,吕玉虎,等. 紫云英与化肥配施对水稻生长和土壤养分含量的影响[J]. *天津农业科学*, 2012, 18(3): 54 – 58.
- [27] Peng Y F, Yu P, Li X X, *et al.* Determination of the critical soil mineral nitrogen concentration for maximizing maize grain yield[J]. *Plant and Soil*, 2013, 372: 41 – 51.
- [28] 王旭东,李祖荫,张一平. 不同有机物料施入土壤后的磷素转化和及其供磷能力的差异[J]. *土壤通报*, 1998, 29(3): 113 – 115.
- [29] 邢素丽,刘孟朝,韩保文. 12 年连续施用秸秆和钾肥对土壤钾素含量和分布的影响[J]. *土壤通报*, 2007, 38(3): 486 – 490.
- [30] 王 应,袁建国. 秸秆还田对培肥土壤的作用与效益研究[J]. *山西农业科学*, 2007, 35(11): 71 – 74.
- [31] 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, 2010.
- [32] 潘福霞,鲁剑巍,刘 威,等. 三种不同绿肥的腐解和养分释放特征研究[J]. *植物营养与肥料学报*, 2011, 17(1): 216 – 223.