

不同水肥处理对苕子和后茬玉米生长及土壤肥力的影响

赵彩衣¹, 王媛媛¹, 董青君¹, 付利波², 陈华², 陈检锋²,
刘满强¹, 徐莉¹, 李辉信¹, 胡锋¹, 焦加国¹

(1.南京农业大学资源与环境科学学院, 南京 210095; 2.云南省农业科学院农业环境资源研究所, 昆明 650205)

摘要: 在田间试验条件下, 研究不同水肥处理对光叶紫花苕子(简称苕子)生长, 及其翻压后对后茬玉米产量和土壤肥力的影响。结果表明, 灌溉和施肥均显著促进苕子生长。在绿肥季, 不论施肥与否, 灌溉处理均可显著提高苕子的生物量、根系活力和 N、P 养分累积, NPW(绿肥季施氮磷肥和灌溉)和 CKW 处理(绿肥季不施肥, 只进行灌溉处理)的苕子生物量、根系活力和 N、P 养分累积分别比相应的未灌溉处理提高 34.58% 和 56.10%, 26.49% 和 37.92%, 43.47% 和 146.89%, 103.84% 和 113.94%。苕子翻压的养分还田量为 125.32~274.49 kg/hm², 约占玉米季化肥总养分的 26.95%~59.03%。与冬闲处理(CF)相比, 不同施肥和灌溉处理的绿肥翻压均促进玉米产量和养分累积, 以及土壤养分含量的提高, 其中以 NPW 处理的提升效果最明显。周年等养分条件下, 玉米季 15.56% 氮或 50.00% 磷肥料前移至绿肥季, 可明显促进绿肥养分还田量的增加, 后茬玉米产量(增幅为 8.39%~31.19%)和养分累积量(增幅为 7.31%~29.20%)也有不同程度的增加。综上, 在适量灌溉和施肥条件下, 苕子生物量明显增加, 进而促进后茬玉米产量和养分累积量增加。研究结果可为我国绿肥农田应用及化肥减施提供数据支撑和实践依据。

关键词: 光叶紫花苕子; 土壤肥力; 玉米产量; 养分累积

中图分类号: S158; S551+.2; S513

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2019)04-0161-06

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcbx.2019.04.023

Influence of Different Irrigation and Fertilization Treatments on the Growth of *Viciavillosa Rothvar* and Later-cropping Maize and Soil Fertility

ZHAO Caiyi¹, WANG Yuanyuan¹, DONG Qingjun¹, FU Libo², CHEN Hua²,

CHEN Jianfeng², LIU Manqiang¹, XU Li¹, LI Huixin¹, HU Feng¹, JIAO Jiaguo¹

(1.College of Resources and Environmental Sciences, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095;

2.Agricultural Environment and Resources Institute, Yunnan Academy of Agricultural Sciences, Kunming 650205)

Abstract: We studied the effects of different irrigation and fertilization treatments on the growth of *Viciavillosa Rothvar* (Vetch) and the effects of the green manure on the growth of later-maize yield and soil fertility through field experiments. The results showed that both irrigation and fertilization significantly promoted the growth of Vetch. In the green manure season, irrigation could significantly increase the biomass, root activity, nitrogen and phosphorus nutrients accumulation of Vetch, whether fertilized or not. The Vetch biomass, root activity, nitrogen and phosphorus nutrients accumulation of NPW (applying nitrogen, phosphorus fertilizer and irrigation in green manure season) and CKW (no fertilization in green manure season, only irrigation treatment) consistently increased by 34.58% and 56.10%, 26.49% and 37.92%, 43.47% and 146.89%, 103.84% and 113.94%, respectively, compared with the corresponding no irrigated treatment. The amount of nutrients returned from the residual Vetch were 125.32~274.49 kg/hm², which accounted for 26.95%~59.03% of the total nutrients of chemical fertilizer in maize season. Compared with CF treatment (winter idle land treatment), the green manure growing under different fertilization and irrigation treatments promoted maize yield and nutrients accumulation and increased soil nutrients, and among the treatments, the effect of NPW treatment was the best. Under the same annual nutrient condition, 15.56% of nitrogen or 50.00% of phosphorus fertilization in the maize season transferred forward to the green manure growing season, which could significantly increase the amount of green manure nutrient returned to the field, the maize yield (8.39%~31.19%) and nutrients accumulation (7.31%~29.20%). In conclusion, under the conditions of appropriate irrigation and fertiliza-

收稿日期: 2018-12-31

资助项目: 国家绿肥产业技术体系(CARS-22-G-10)

第一作者: 赵彩衣(1994—), 女, 硕士研究生, 主要从事绿肥的应用研究。E-mail: 2017803176@njau.edu.cn

通信作者: 焦加国(1981—), 男, 副教授, 硕士生导师, 主要从事土壤生态研究。E-mail: jiaguojiao@njau.edu.cn

tion, the biomass of Vetch increased significantly, which had consistent increased the yield and nutrients accumulation of later-maize. The results could provide data support and practical basis for the application of green manure infield managements and fertilizer reduction in China.

Keywords: *Viciavillosa Rothvar*; soil fertility; maize yield; nutrient accumulation

长期以来,我国农业生产中化肥的使用对提高作物产量发挥了巨大作用,但随着其用量不断增长,导致土壤中有机质含量减少,土壤结构变差,养分协调供应能力、理化性状调节能力和土壤生物调节能力下降,易引起病虫害发生,导致生产成本增加,生态环境受到破坏^[1-3]。绿肥作为我国传统的有机肥,种植和翻压后土壤生物过程活跃,有利于土壤有机物质的转化,改变土壤 pH 和微生态环境,协调土壤微生物菌群结构,在提升土壤的综合肥力水平、改善生态环境、提高后茬作物产量等方面具有重要作用^[4-7]。

绿肥中苕子为豆科(*Laguminosae* SP.)一年生或越年生蔓生草本。主要分布在东西两半球的温带地区,在我国有近 30 种,适应性广,其苕子的抗寒性强于紫云英和箭筈豌豆。云南地处中国西南边陲,历史上就有利用绿肥的习惯,苕子在玉米、水稻、烟草等作物轮中应用非常普遍。云南夏季高温多雨,冬季温和少雨,属于典型的季节性干旱地区,如何保证云南地区冬季绿肥的正常生长显得尤其关键。但在实际的农业生产中,苕子等旱地绿肥的种植管理粗放,基本不浇水、不施肥,很容易造成鲜草产量下降,进而影响地力培肥。当前对绿肥的研究主要集中在不同翻压量、多年翻压及不同绿肥种植模式对土壤养分含量及后茬作物产量提升方面,关于绿肥本身水肥需求规律的研究很少。已有的研究^[8-9]表明,通过水肥调控可显著提高苜蓿的株高、茎粗和养分含量,进而提高其生物量、养分累积和肥料利用率。

本试验以云南旱地红壤为研究对象,基于周年养分等量原则,研究水肥调控措施对绿肥苕子生长及其翻压后对主作物玉米产量和养分累积的影响,来探究适应于旱地绿肥与主作物生产的肥水管理模式,为当地的农业生产实践提供技术指导。

1 材料与方法

1.1 试验地概况与供试材料

试验在云南省农业科学研究院嵩明试验基地开展,位于昆明市盘龙区,属北纬低纬度亚热带—高原山地季风气候,年平均气温 14.9℃,年平均降水量约 1 000.5 mm,相对湿度 76%。土壤类型为红壤,pH 7.06,有机质含量 41.37 g/kg,全氮含量 2.02 g/kg,速效氮含量 78.40 mg/kg,全磷含量 1.01 g/kg,速效磷含量 7.01 mg/kg,速效钾含量 145.24 mg/kg。

供试作物:玉米品种为“黑糯一号”。

供试肥料:尿素(CON_2H_4)、粉状过磷酸钙($\text{CaP}_2\text{H}_4\text{O}_8$,含 P_2O_5 16%)、复合肥(N:P:K 含量比例为 13:10:20)和硫酸钾(K_2SO_4)。

1.2 试验设计

试验于 2017 年 11 月布置,设置不同灌溉和施肥处理,共 10 个处理(表 1),种植制度为苕子和玉米轮作。采用大区试验,每个大区规格为 25 m×10 m,面积 250 m²,大区间沟宽 0.5 m。作物花期自然授粉,灌溉处理包括苕子越冬水和返青水 2 次浇水,越冬水在 2018 年 2 月 2 日进行,用水量 750 m³/hm²,返青水在 2018 年 3 月 14 日(绿肥返青)浇水,用量 450 m³/hm²。绿肥季尿素和过磷酸钙都作为基肥一次性施入,不进行追肥。玉米季在播种前施加氮肥、磷肥和钾肥,其中磷肥和钾肥作为基肥一次性施入,不进行追肥,氮肥除基肥外,在苗期和喇叭口期追肥 2 次,具体施肥量见表 1。

1.3 样品采集与测定

于 2018 年 4 月 17 日(苕子盛花期)和 2018 年 9 月 18 日(玉米收获期)分别进行土壤样品和植株样品的采集。采用多点混合采样方法采集耕层土壤(0—20 cm),每个土壤样品取 5~6 钻,约 1 kg。土壤样品在室内自然风干,部分过孔径为 0.25 mm 筛用于速效养分和土壤呼吸的测定,其余部分过孔径为 0.149 mm 筛用于土壤有机质、全氮、全磷的测定。相关指标测定均采用常规方法^[10]。

苕子植株样品:采用样方法,每个大区随机取 3 个样方(2 m×2 m),测定其地上部生物量,然后推算至整个大区;从中取 0.5~1.0 kg 植株样品,进行杀青(105℃下烘 0.5 h),70℃烘至恒重处理后,测定其全氮、全磷、全钾的含量;同时采集其地下部根系,用 TTC^[11]法测定其根系活力。

玉米植株样品:采取样方法,每个大区随机取 3 个样方,每个样方随机选取 10 株玉米,对玉米籽粒和玉米芯分别称重;每个样方采集 1 株玉米茎秆,确定茎和叶比例,带回实验室用于氮、磷、钾养分测定。

1.4 参数计算与数据处理

苕子氮、磷、钾养分累积量(kg/hm²)=苕子氮、磷、钾养分含量×苕子生物量

玉米各部分氮、磷、钾养分累积量(kg/hm²)=玉米各部分氮、磷、钾养分含量×玉米各部分生物量^[12]

采用 Excel 2010 软件对数据进行统计分析和制

图。采用单因素(One-way ANOVA)和 Duncan 法 进行方差分析和多重比较($\alpha=0.05$)。

表 1 不同施肥处理与两季作物施肥用量

处理	施肥设置	绿肥季施肥量/		主作物季施肥量/(kg·hm ⁻²)				
		(kg·hm ⁻²)		基肥			1 次追肥	2 次追肥
		N	P ₂ O ₅	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	N
CF	冬闲	0	0	54	90	105	81	135
CK	对照,绿肥季无任何水肥调控	0	0	54	90	105	81	135
N		42	0	54	90	105	81	135
EN		42	0	37.2	90	105	55.8	135
P	绿肥季单施氮肥	0	45	54	90	105	81	135
EP	周年等磷(主作物减磷)	0	45	54	45	105	81	135
NP	绿肥季氮肥和磷肥都施用	42	45	54	90	105	81	135
ENP	周年等氮磷(主作物减氮磷)	42	45	37.2	45	105	55.8	135
CKW	绿肥季不施肥,进行灌溉处理	0	0	54	90	105	81	135
NPW	绿肥季施氮磷肥和灌溉处理	42	45	54	90	105	81	135

2 结果与分析

2.1 不同水肥处理对苕子生长及养分累积的影响

2.1.1 不同水肥处理对苕子地上部生物量和根系活力的影响 由表 2 可知,灌溉和施肥均可显著增加苕子的生物量和根系活力,且灌溉处理的促进作用更为显著。灌溉条件下无论施肥与否,苕子的地上部生物量和根系活力均显著增加。NPW 和 CKW 处理的生物量较 NP 和 CK 处理分别提高 34.58%和 56.10%,根系活力分别提高 26.49%和 37.92%。

2.1.2 不同水肥处理对苕子养分含量及养分累积的影响 由表 3 可知,不论施肥与否,灌溉处理均可显著提高对苕子的 N、P 养分含量,由于灌溉处理对苕子生物量和养分含量的双重促进作用,NPW 和 CKW 处理的养分累积较相应的施肥处理均显著增加。不同水肥处理下的苕子翻压养分 N、P、K 还田量,

分别相当于玉米季化肥施用量的 23.89%~58.98%, 5.44%~17.09%和 53.26%~99.77%。

表 2 不同水肥处理对苕子生物量和根系活力的影响

处理	生物量(鲜重)/ (t·hm ⁻²)	根系活力(盛花期)/ (mg·g ⁻¹ ·h ⁻¹)
CK	13.53±0.68c	0.90±0.04c
N	16.61±0.67bc	0.75±0.12c
EN	15.35±1.13bc	0.76±0.12c
P	16.26±1.81bc	0.95±0.03bc
EP	19.08±1.84ab	0.95±0.03bc
NP	16.09±2.13bc	0.93±0.03c
ENP	15.72±1.97bc	0.94±0.03c
CKW	21.13±2.82a	1.23±0.15a
NPW	21.65±2.01a	1.17±0.03ab

注:表中数据为平均值±标准误;同列不同字母表示处理间差异显著($p<0.05$)。下同。

表 3 不同水肥处理对苕子养分含量和养分累积的影响

处理	养分含量			养分累积		
	N/%	P/%	K/%	N/(kg·hm ⁻²)	P/(kg·hm ⁻²)	K/(kg·hm ⁻²)
CK	2.48±0.41b	0.19±0.01c	2.14±0.11b	64.50±7.88d	4.90±0.17d	55.92±2.75d
N	2.32±0.04b	0.15±0.01f	1.89±0.08c	77.61±10.26cd	5.07±0.66d	63.19±8.48cd
EN	2.28±0.15b	0.16±0.01ef	1.90±0.11c	76.47±6.44cd	5.33±0.19d	63.76±5.21cd
P	2.49±0.22b	0.17±0.01d	2.25±0.05b	81.73±13.15c	5.65±0.78d	73.52±6.94c
EP	2.49±0.23b	0.22±0.01b	1.94±0.10c	87.44±3.32c	7.69±0.49c	68.41±5.12c
NP	2.57±0.14b	0.17±0.01de	1.98±0.03c	85.90±6.01c	5.60±0.23d	66.22±2.03cd
ENP	2.41±0.38b	0.16±0.01de	2.00±0.10c	84.86±7.95c	5.81±0.75d	71.09±8.35c
CKW	3.32±0.39a	0.22±0.01b	2.18±0.07b	159.25±21.08a	10.48±0.67b	104.76±9.73a
NPW	3.41±0.07a	0.32±0.01a	2.40±0.13a	123.24±8.03b	11.41±1.00a	86.92±10.80b

2.2 苕子翻压对玉米产量及养分吸收的影响

2.2.1 苕子翻压对玉米地上部生物量和产量的影响 由图 1 可知,施肥处理和灌溉处理(除 EN 处理)的苕子翻压后,玉米地上部生物量和产量均显著增加,其中 NPW 处理的提升效果最为显著。在灌溉条件下,NPW 和 CKW 处理的玉米地上部生物量分别较 NP 和 CK 处理提高 35.18%和 43.24%,产量分别提

高 29.11%和 19.44%。

玉米季部分肥料前移至绿肥季,导致绿肥生物量显著增加,其翻压后不同程度提高了玉米产量,增幅为 8.39%~31.19%;较相应的全量化肥处理相比,EN、EP 处理的玉米产量有一定程度降低,降幅为 2.61%~10.82%,而 ENP 处理则有 7.08%的增加,但均无显著差异。

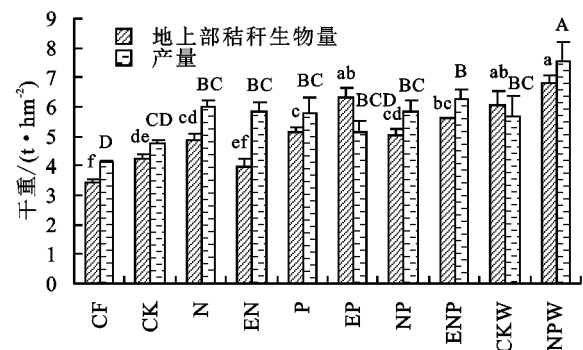


图 1 不同水肥处理苕子翻压对玉米地上部秸秆生物量和产量的影响

表 4 不同水肥处理苕子翻压对玉米各部分养分含量的影响 单位：%

处理	叶			茎			籽粒			芯		
	N	P	K	N	P	K	N	P	K	N	P	K
CF	0.90±0.10b	0.07±0.01d	0.71±0.16c	0.36±0.03d	0.02±0.01cd	1.46±0.20c	1.40±0.09c	0.22±0.01a	0.34±0.05abc	0.37±0.05a	0.03±0.01a	0.89±0.15ab
CK	1.23±0.20a	0.10±0.01ab	0.88±0.12abc	0.56±0.01ab	0.03±0.01a	2.21±0.01b	1.55±0.08abc	0.24±0.01ab	0.30±0.08bc	0.47±0.03a	0.03±0.01a	1.44±0.29a
N	1.08±0.03ab	0.08±0.01cd	0.65±0.08c	0.49±0.02bc	0.02±0.01cd	2.59±0.36b	1.54±0.06abc	0.25±0.01ab	0.33±0.06abc	0.44±0.07a	0.03±0.02a	1.23±0.09ab
EN	1.09±0.02ab	0.11±0.01a	1.11±0.20ab	0.42±0.04cd	0.02±0.01abcd	2.58±0.61b	1.48±0.14abc	0.24±0.02ab	0.32±0.03abc	0.40±0.01a	0.03±0.01a	1.17±0.50ab
P	1.09±0.03ab	0.08±0.01bcd	0.61±0.05c	0.64±0.04a	0.03±0.01abc	2.83±0.61ab	1.51±0.06abc	0.25±0.02ab	0.35±0.07abc	0.38±0.06a	0.03±0.01a	1.11±0.33ab
EP	1.07±0.10ab	0.08±0.01bcd	0.81±0.26bc	0.56±0.09ab	0.03±0.01ab	2.86±0.33ab	1.45±0.07abc	0.25±0.02ab	0.39±0.03ab	0.42±0.12a	0.04±0.01a	0.13±0.53ab
NP	1.07±0.21ab	0.09±0.01bc	0.88±0.21abc	0.55±0.11ab	0.01±0.01d	2.94±0.51ab	1.59±0.13ab	0.26±0.03a	0.31±0.03abc	0.41±0.01a	0.03±0.01a	0.84±0.06b
ENP	1.01±0.05b	0.08±0.02bcd	0.78±0.25c	0.58±0.03ab	0.03±0.01ab	2.39±0.30b	1.49±0.11abc	0.25±0.02ab	0.40±0.06a	0.42±0.09a	0.03±0.02a	1.39±0.35ab
CKW	1.11±0.13ab	0.09±0.02bc	0.85±0.16abc	0.63±0.01a	0.03±0.01ab	3.31±0.20a	1.52±0.14abc	0.24±0.02ab	0.26±0.03c	0.37±0.03a	0.03±0.01a	0.84±0.15b
NPW	1.24±0.05a	0.09±0.01bc	1.15±0.14a	0.50±0.04bc	0.02±0.01bcd	2.48±0.03b	1.64±0.02a	0.26±0.01a	0.32±0.04abc	0.40±0.02a	0.03±0.01a	1.07±0.06ab

由图 2 可知,在玉米季,绿肥翻压处理玉米植株的养分累积量均不同程度增加,增幅为 43.59%~142.59%,其中 NPW 处理较其他处理的提升效果最为显著,增幅为 142.59%。苕子季的灌溉处理促进了后茬玉米养分累积量的增加,NPW 和 CKW 处理的玉米的 N 累积量较施肥处理分别提高 57.58,2 8.68 kg/hm²,P 累积量分别提高 6.20,3.43 kg/hm²,K 累积量分别提高 33.01,40.12 kg/hm²。

不同施肥处理的 N、P、K 累积量较 CK 处理的增幅为 4.71%~21.69%,20.15%~35.32%和 8.21%~53.39%,其中以苕子季氮磷配施处理(NP)和周年等氮磷处理(ENP)处理的增幅最大;与 CKW 相比,NPW 处理的 NPK 累积量的分别增加 33.19%,37.65%和 16.36%。较相应的全量化肥处理相比,EN 处理的玉米总养分累积有一定程度降低,降幅为 6.23%,而 EP 处理则有 6.96%的增幅,但均无显著差异。

对于养分在玉米不同器官的分布而言,N、P 元素主要在玉米的籽粒中累积,分别占比 54.84%~68.17%和 73.98%~81.96%,其次为叶片,而钾主要在茎和叶中累积,占比分别为 24.24%~48.57%和 21.74%~39.48%。

2.3 苕子翻压对玉米季土壤肥力的影响

与 CF 处理相比,苕子翻压玉米收获季的土壤有机质和养分含量(除铵态氮)均显著提高(表 5),其

2.2.2 苕子翻压对玉米各部分养分含量及养分累积的影响 在玉米季(表 4),不同水肥处理条件下的苕子翻压均不同程度地提升了玉米的各部分养分含量,其中 NPW 处理的提升效果最为显著。相比 NP 处理,NPW 处理对叶 N、P、K 含量、茎 P 含量、芯 K 含量和籽粒 N、K 含量均具有提升作用,而对茎和叶的 N、K 及籽粒的 P 含量具有降低作用;而 CKW 与 CK 相比呈相反趋势,但均无显著差异。苕子季施肥处理对玉米芯的 P 含量和籽粒的 P、K 含量具有提升作用,对其他养分含量的作用趋势相反,均无显著差异。

中 NPW 处理的提升效果显著,其有机质、全氮、全磷、硝态氮、速效磷和速效钾分别提高 11.94%,14.55%,74.72%,26.23%,2.38%和 15.34%。

NPW 和 CKW 处理分别较相应的 NP 和 CK 处理相比,全氮、全磷、有机质含量显著增加,而硝态氮含量显著降低。与 CK 相比,施肥对硝态氮、全氮、全磷、有机质的含量具有提升作用,而速效磷含量降低;与 CKW 相比,NPW 处理的全氮、全磷、有机质含量显著增加。

由表 5 可知,相比于 CF,翻压苕子提升了土壤的呼吸强度,苕子季施肥处理的提升效果显著;其中,N、EN 和 P 处理的提升效果最佳。与 CK 处理相比,苕子季施肥处理的土壤呼吸强度提高 32.64%~68.96%。

相对于 CF,翻压苕子对微生物生物量碳氮具有提升作用,ENP 和 NPW 处理对微生物生物量碳的提升效果最佳,分别提升 199.60%和 193.63%;P 和 EP 处理对微生物生物量氮的提升效果最佳,分别提升 69.98%和 69.00%。NPW 和 CKW 处理与相应的 NP 和 CK 处理相比,微生物生物量碳分别提高 11.81%和 -12.21%;微生物生物量氮分别提高 22.46%和 20.74%。苕子季施肥处理与 CK 处理相比条件下,微生物生物量碳提升 3.66%~74.14%,微生物生物量氮提升 18.19%~50.57%。

表 5 不同水肥处理苕子翻压还田后对土壤养分含量的影响

处理	pH	有机质/ (g·kg ⁻¹)	全氮/ (g·kg ⁻¹)	全磷/ (g·kg ⁻¹)	铵态氮/ (mg·kg ⁻¹)	硝态氮/ (mg·kg ⁻¹)	速效磷/ (mg·kg ⁻¹)	速效钾/ (mg·kg ⁻¹)	呼吸强度(mgCO ₂ - C·g ⁻¹ ·h ⁻¹)	微生物生物量碳/ (μg·g ⁻¹)	微生物生物量氮/ (μg·g ⁻¹)
CF	6.86±0.01bcd	38.65±0.75d	1.79±0.16c	1.16±0.22c	2.20±0.32a	12.97±1.34de	5.60±0.47bcd	136.20±5.46c	0.60±0.01d	83.93±15.89d	18.17±2.52d
CK	7.58±0.28a	39.55±1.29cd	1.94±0.15bc	1.24±0.17c	2.19±0.53a	11.67±1.71e	6.53±0.38ab	151.68±12.57c	0.63±0.04cd	144.40±14.65bcd	20.51±0.76cd
N	6.71±0.16d	39.91±1.63cd	2.03±0.09ab	1.35±0.11bc	2.02±0.07a	12.58±1.04de	5.26±0.17cd	147.08±14.78c	1.07±0.19a	179.05±24.39abc	28.07±0.89ab
EN	6.77±0.08cd	39.89±1.60cd	2.01±0.24ab	1.37±0.13bc	2.28±0.16a	14.10±0.14cd	2.63±0.41e	133.83±6.34c	1.07±0.06a	185.88±42.24abc	26.52±0.32ab
P	6.97±0.08bc	41.17±0.70abcd	2.11±0.09ab	1.64±0.03ab	2.22±0.12a	13.33±0.88cde	5.92±1.04abc	142.13±13.61c	0.96±0.03a	149.70±12.70bcd	30.88±3.87a
EP	7.00±0.05bc	43.41±1.05a	2.24±0.12a	1.67±0.37ab	2.25±0.27a	15.27±0.94abc	5.56±0.63bcd	160.29±18.64bc	0.88±0.03ab	191.44±12.86abc	30.70±3.12a
NP	6.99±0.07bc	42.97±0.58ab	2.03±0.03ab	1.48±0.29bc	2.22±0.17a	14.30±1.23bcd	5.86±0.61abc	211.87±12.86a	0.84±0.05abc	220.41±32.19ab	24.24±0.74bc
ENP	6.90±0.11bcd	41.30±1.59abc	2.19±0.05a	1.44±0.07bc	2.27±1.11a	16.51±0.14a	4.83±0.44d	188.38±37.78ab	0.89±0.29ab	251.46±35.34a	27.06±2.07ab
CKW	7.79±0.12a	40.66±1.23bcd	2.03±0.04ab	1.54±0.27bc	2.10±0.04a	13.78±1.94cde	6.71±0.06a	158.58±16.61bc	0.71±0.07bcd	126.78±20.16cd	24.76±4.05bc
NPW	7.06±0.19b	43.27±2.09a	2.05±0.12ab	2.03±0.14a	2.05±0.28a	16.38±1.23ab	5.73±0.46abcd	157.09±22.26bc	0.91±0.15ab	246.45±31.55a	29.68±2.82a

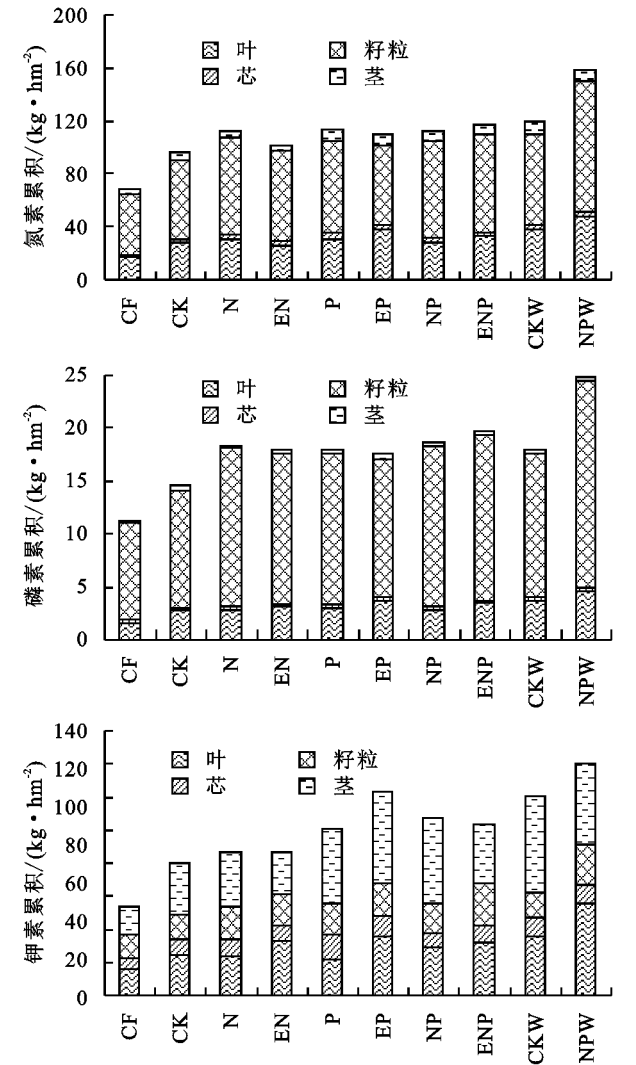


图 2 不同水肥处理苕子翻压后氮、磷、钾养分在玉米不同器官中的累积

3 讨论

3.1 灌溉和施肥对苕子生长的影响

本研究中,灌溉和施肥均显著提高苕子的生物量及养分累积量,其中以 NPW 和 CKW 处理苕子的根系活力、生物量及养分含量最高,进而导致苕子各养分累积量均显著高于其他处理。NPW 和 CKW 处理

的苕子生物量较 NP 和 CK 分别提高 34.58% 和 56.10%,养分累积量分别提升 47.25% 和 28.01%; NP 处理较 CK 生物量和养分累积分别提升 18.87% 和 22.62%。这表明灌溉处理能够显著提高苕子生物量及其对养分的吸收,这是因为植物的生长主要依靠细胞的不断分裂、延伸及分化,水分是细胞进行生命活动的基础;当缺水时,对水分敏感的各器官细胞的延伸生长减缓,甚至停止,从而降低作物的生物量和养分含量;当水肥充足时,可促进植株各部分器官的生长,提高植株的养分累积量。这与呼玉峰^[13]的水肥耦合研究结果一致。此外,本研究 2018 年的室内盆栽试验初步结果显示,20% 最大田间持水量条件下,苕子不能正常生长,随着含水量的增加,苕子的生物量显著增加。

3.2 不同水肥处理苕子翻压对主作物玉米的影响

苕子翻压后,玉米的地上部生物量、产量、养分含量及养分累积量均显著增加;其中 NPW 处理由于苕子养分累积量最大,对玉米产量的提升效果最为显著。李继明等^[14]通过 26 年长期定位试验表明,绿肥翻压有利于水稻稳产增产,减少化肥的使用量,提高化肥氮、磷、钾养分的农学利用效率达 60% 以上;郭云周等^[15]通过云南红壤 2 年的定位试验表明,与单施全量化肥处理比较,翻压绿肥 15 000 kg/hm²、氮磷钾化肥减量 15% 的处理烤烟增产 11.89%;氮磷钾化肥减量 30% 的处理,烤烟增产 5.53%;施用苕子处理烤烟产量较空白对照增加 18.81%。这主要是苕子翻压后在较长时期内均能够不断腐解释放养分,并对于土壤和化肥养分的释放有调控作用,能够使作物在整个生长阶段得到稳定的有机—无机养分供给,肥效时间长,作用持久,增加了土壤碳源、氮源、磷源和钾源,从而提高玉米的产量和养分含量^[16-21]。

与 CK 相比,EN、EP、ENP 处理的玉米产量增幅分别为 22.59%,8.39% 和 31.19%,这表明在周年等养分条件下,将玉米季的部分肥料前移至绿肥季,玉

米产量不仅没有降低,还有小幅增加,这主要是由于苕子季适量施肥可以大幅提高养分累积量,在其还田后给后茬玉米提供持续、稳定的养分;从玉米的养分利用率来看,虽然 EN、EP、ENP 处理的化肥施用量较 CK 少,但其玉米养分累积量较 CK 无显著差异,养分利用率进一步提高。这表明将绿肥纳入玉米轮作体系,不仅可以减少化肥施用量,还可以小幅提高玉米产量,更重要的是提高玉米的养分累积量及养分利用率,实现以小肥换大肥的目的^[22-24]。

3.3 不同水肥处理苕子翻压后对土壤肥力的影响

苕子翻压还田后,玉米季土壤全氮、全磷、速效磷、速效钾及有机质含量增加;同时,土壤中微生物数量和活性也不同程度增加。这主要是由于苕子通过腐解作用转变为有机质并释放出大量的氮素和钾素,以及部分的磷素,使玉米对土壤的养分依存率降低,进而培肥了地力。前人^[25-27]通过研究烟田中绿肥与化肥配施也得出这一结论。另外,苕子的翻压增加土壤碳源、氮源、磷源和根系生物量,改变土壤生长环境,提高相关酶类物质的活性,从而促进微生物的生长繁殖,增加土壤微生物生物量碳氮及土壤呼吸强度。这与前人^[28-29]的研究结果一致。这主要与苕子翻压后,土壤的小区域生态环境和不同类别酶活性的变化有关^[30-31];相比于施肥而言,灌溉处理对土壤肥力的提升更为明显,这是由于灌溉促进苕子生物量的大幅增加,翻压还田后释放更多的养分,从而培肥效果更显著。这与前人^[8-9]的研究结果基本一致。

4 结论

在绿肥季灌溉和施肥均可促进对苕子生长和养分累积量,且灌溉作用更为明显。与冬闲处理相比,不同水肥处理条件下的绿肥翻压均可促进后茬玉米生长及土壤肥力的改善,其中 NPW 处理对玉米产量的增幅达到 82.42%。在周年等养分条件下,将玉米季的 15.56% N 肥和 50.00% P 肥前移至绿肥季,由于绿肥生物量增加的作用,玉米产量增幅 25.00%~51.29%。因此,在农业生产过程中,完全可将主作物季的肥料适量前移到绿肥季,可以明显促进绿肥生长,进而促进后茬主作物产量增加,提高肥料利用率。表明苕子纳入玉米轮作体系,不仅有利于提高玉米产量和养分累积,而且可以减少化肥用量。

参考文献:

- [1] 赵秉强,张福锁,廖宗文,等.我国新型肥料发展战略研究[J].植物营养与肥科学报,2004,10(5):536-545.
- [2] 林葆.化肥与无公害农业[M].北京:中国农业出版社,2003.
- [3] García H, José L, Murilloamador B, et al. Research advances and prospects on the use of green manures in ag-

riculture[J]. Management and Organizational History, 2010,6(4):347-366.

- [4] 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.
- [5] 焦彬.中国绿肥[M].北京:农业出版社,1986.
- [6] 叶协锋,杨超,李正,等.绿肥对植烟土壤酶活性及土壤肥力的影响[J].植物营养与肥科学报,2013,19(2):445-454.
- [7] Larkin R P, Griffin T S, Honeycutt C W. Rotation and cover crop effects on soilborne potato diseases, tuber yield, and soil microbial communities[J]. Plant Disease, 2010,94(12):1491-1502.
- [8] 李新乐,穆怀彬,侯向阳,等.水、磷对紫花苜蓿产量及水肥利用效率的影响[J].植物营养与肥科学报,2014,20(5):1161-1167.
- [9] 苏亚丽,张力君,孙启忠,等.水肥耦合对敖汉苜蓿营养成分的影响[J].草地学报,2011,19(5):821-824.
- [10] 鲁如坤.土壤农业化学分析方法[M].北京:中国农业科技出版社,2000.
- [11] 王学奎,黄见良.植物生理生化实验原理与技术[M].北京:高等教育出版社,2015.
- [12] 刘敏.不同秸秆量与无机肥配施对土壤理化性状和玉米生长的影响[D].山东 泰安:山东农业大学,2014.
- [13] 呼玉峰.水肥耦合对紫云英苗期生物学特性影响的研究[D].长沙:湖南农业大学,2009.
- [14] 李继明,黄庆海,袁天佑,等.长期施用绿肥对红壤稻田水稻产量和土壤养分的影响[J].植物营养与肥科学报,2011,17(3):563-570.
- [15] 郭云周,尹小怀,王劲松,等.翻压等量绿肥和化肥减量对红壤旱地烤烟产量产值的影响[J].云南农业大学学报(自然科学版),2010,25(6):811-816.
- [16] 赵秋,高贤彪,宁晓光,等.华北地区春玉米—冬绿肥轮作对碳、氮蓄积和土壤养分以及微生物的影响[J].植物营养与肥科学报,2013,19(4):1005-1011.
- [17] 张久东,包兴国,曹卫东,等.长期施用绿肥减施化肥对毛叶苕子产草量和土壤肥力的影响[J].中国土壤与肥料,2017(6):66-70.
- [18] Canali S, Ciaccia C, Tittarelli F. Soil fertility management in organic potato: The role of green manure and amendment applications[M]//. Sustainable potato production: Global case studies. Springer Netherlands, 2012.
- [19] Haque, Mozammel M, Kim, et al. Optimum application level of winter cover crop biomass as green manure; Under considering methane emission and rice productivity in paddy soil[J]. Biology and Fertility of Soils,2013,49(4):487-493.
- [20] Snyder E M, Karsten H D, Curran W S, et al. Green manure comparison between winter wheat and corn: Weeds, yields, and economics[J]. Agronomy Journal, 2016,108(5):2015.

- 植物多样性和群落结构动态变化特征[J].中南林业科技大学学报,2018,38(12):38-44.
- [14] 李飞宇,梁燕英,石茂鑫.广西桉树人工林生态效益分析与评价[J].安徽农业科学,2017,45(29):161-165.
- [15] 马倩.不同经营措施对桉树林地植物多样性和土壤肥力的影响[D].南宁:广西大学,2018.
- [16] 卢婵江.广西东门不同林龄巨尾桉人工林的生物生产力及经济效益分析[D].南宁:广西大学,2017.
- [17] 俞月凤,彭晚霞,宋同清,等.喀斯特峰丛洼地不同森林类型植物和土壤 C、N、P 化学计量特征[J].应用生态学报,2014,25(4):947-954.
- [18] 于婧睿.桉树幼树蒸腾和林地土壤蒸发及入渗研究[D].南宁:广西大学,2016.
- [19] 刘继龙,马孝义,张振华,等.果园土壤水分时间稳定性研究[J].应用基础与工程科学学报,2014,22(4):698-704.
- [20] 朱绪超,邵明安,朱军涛,等.高寒草甸生态系统表层土壤水分时间稳定性研究[J].农业机械学报,2017,48(8):212-218.
- [21] 白一茹,王幼奇,王建宇.黄土丘陵区枣林土壤水分时间稳定性特征[J].应用基础与工程科学学报,2018,26(1):23-34.
- [22] 李春茂,陈洪松,徐勤学,等.典型岩溶峰丛洼地坡面土壤水分空间变异性[J].中国岩溶,2018,37(2):159-167.
- [23] 魏全帅.红松阔叶混交林林隙丘坑复合体微气候及其分布格局[D].哈尔滨:东北林业大学,2014.
- [24] 程辉.小尺度石漠化坡耕地土壤属性空间变异研究[D].重庆:西南大学,2013.
- [25] Yang L, Wei W, Chen L D, et al. Response of temporal variation of soil moisture to vegetation restoration in semi-arid Loess Plateau, China [J]. Catena, 2014, 115:123-133.
- [26] Jia X, Shao M A, Wei X, et al. Hillslope scale temporal stability of soil water storage in diverse soil layers[J].Journal of Hydrology,2013,498:254-264.
- [27] Li X Z, Shao M A, Jia X, et al. Landscape-scale temporal stability of soil water storage within profiles on the semiarid Loess Plateau of China[J].Journal of Soils and Sediments,2015,15(4):949-961.
- [28] Jia Y H, Shao M A. Temporal stability of soil water storage under four types of revegetation on the northern Loess Plateau of China [J]. Agricultural Water Management,2013,117(1):33-42.
- [29] 李旺霞,陈彦云.土壤水分及其测量方法的研究进展[J].江苏农业科学,2014,42(10):335-339.
- (上接第 166 页)
- [21] 杜威,王紫泉,和文祥,等.豆科绿肥对渭北旱塬土壤养分及生态化学计量学特征影响[J].土壤学报,2017,54(4):999-1008.
- [22] Pypers P, Bimponda W, Lodi-Lama J P, et al. Combining mineral fertilizer and green manure for increased, profitable cassava production[J]. Agronomy Journal, 2012,104(1):178.
- [23] Bayala J, Sileshi G W, Coe R, et al. Cereal yield response to conservation agriculture practices in drylands of West Africa: A quantitative synthesis[J]. Journal of Arid Environments,2012,78:1-25.
- [24] 颜志雷,方宇,陈济琛,等.连年翻压紫云英对稻田土壤养分和微生物学特性的影响[J].植物营养与肥料学报,2014,20(5):1151-1160.
- [25] Liu M, Hu F, Chen X, et al. Organic amendments with reduced chemical fertilizer promote soil microbial development and nutrient availability in a subtropical paddy field: The influence of quantity, type and application time of organic amendments[J]. Applied Soil Ecology,2009,42(2):1-175.
- [26] 李正,刘国顺,敬海霞,等.绿肥与化肥配施对植烟土壤微生物量及供氮能力的影响[J].草业学报,2011,20(6):126-134.
- [27] 刘国顺,李正,敬海霞,等.连年翻压绿肥对植烟土壤微生物量及酶活性的影响[J].植物营养与肥料学报,2010,16(6):1472-1478.
- [28] 张成兰,艾绍英,杨少海,等.双季稻—绿肥种植系统下长期施肥对赤红壤性状的影响[J].水土保持学报,2016,30(5):184-189.
- [29] 李萍,荀咪,岳松青,等.果园土壤有机碳及呼吸速率对豆科和禾本科草类的差异反应[J].水土保持学报,2018,32(6):327-332.
- [30] 杨曾平,徐明岗,聂军,等.长期冬种绿肥对双季稻种植下红壤性水稻土质量的影响及其评价[J].水土保持学报,2011,25(3):92-97,102.
- [31] 倡国涵,赵书军,王瑞,等.连年翻压绿肥对植烟土壤物理及生物性状的影响[J].植物营养与肥料学报,2014,20(4):905-912.