

网络出版时间:2014-02-28 13:13

DOI:10.13207/j.cnki.jnwafu.2014.03.011

网络出版地址:http://www.cnki.net/kcms/doi/10.13207/j.cnki.jnwafu.2014.03.011.html

豆科绿肥养分累积规律及其对后茬小麦 生长和产量的影响

姚鹏伟¹,张达斌¹,王 峥¹,曹群虎²,鱼昌为²,
李 婧¹,曹卫东³,高亚军^{1,4}

(1 西北农林科技大学 资源环境学院,陕西 杨凌 712100;2 陕西省长武县农业技术推广中心,陕西 长武 713600;

3 中国农业科学院 农业资源与农业区划研究所,北京 100081;

4 农业部西北植物营养与农业环境重点实验室,陕西 杨凌 712100)

[摘 要] 【目的】研究不同豆科绿肥品种养分累积规律及其盛花期翻压后对小麦生长和产量的影响,为筛选出最佳的绿肥品种提供重要的理论依据。【方法】采用田间试验,设置了夏季裸地休闲(对照)以及种植大豆、长武怀豆、绿豆 4 个处理,分析了 3 种豆科绿肥干物质和养分累积动态,比较了其盛花期的养分还田量,并对 3 种豆科绿肥翻压后后茬小麦养分吸收量和籽粒产量的变化进行了分析。【结果】1)长武怀豆和大豆干物质和养分累积相对较快,翻压前两者干物质和养分累积量明显高于绿豆。2)与对照相比,种植并翻压长武怀豆和大豆能显著提高小麦地上部 N、P、K 吸收量和籽粒产量。3)种植并翻压绿豆的后茬小麦基本苗和返青期总茎数明显降低,因而最终导致绿豆处理的小麦籽粒产量较低。【结论】在渭北旱塬地区,长武怀豆和大豆是短期豆科绿肥的适宜品种。

[关键词] 豆科绿肥;冬小麦;产量;干物质;养分累积

[中图分类号] S551;S512.1⁺10.1

[文献标志码] A

[文章编号] 1671-9387(2014)03-0111-07

Nutrients accumulation of leguminous green manures and the effects on growth and yield of winter wheat

YAO Peng-wei¹,ZHANG Da-bin¹,WANG Zheng¹,CAO Qun-hu²,YU Chang-wei²,
LI Jing¹,CAO Wei-dong³,GAO Ya-jun^{1,4}

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

2 Shaanxi Changwu District Agro-technology Extension Center, Changwu, Shaanxi 713600, China; 3 Institute of

Agricultural Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China; 4 Key Laboratory of Plant Nutrition and the Agri-environment in Northwest China, Ministry of Agriculture, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: 【Objective】Nutrients accumulation dynamics of different leguminous green manures and their effects on the growth and yield of winter wheat were studied to determine the best green manure type. 【Method】A field experiment with four treatments: summer fallow (control), planting soybean, mung bean and Changwuhuai bean was conducted. Dry matter and nutrients accumulation dynamics of three leguminous green manures and their effects on wheat yield and nutrients uptake were analyzed. 【Result】Changwuhuai bean and soybean had significantly greater dry matter and nutrient accumulation than mung bean.

[收稿日期] 2013-03-22

[基金项目] 公益性行业(农业)科研专项(201103005);国家小麦现代产业技术体系建设专项;国家农作物种质资源平台项目;教育部“新世纪优秀人才支持计划”项目(NCET-08-0465);农业科研杰出人才及其创新团队培养计划项目

[作者简介] 姚鹏伟(1987—),男,河南洛阳人,硕士,主要从事植物营养与环境研究。E-mail: ypw198612@163.com

[通信作者] 高亚军(1968—),男,陕西岐山人,教授,博士,博士生导师,主要从事植物营养学研究。

E-mail: yajungao@nwsuaf.edu.cn

Changwuhuai bean and soybean green manures could significantly improve wheat yield and N,P,and K uptakes compared to control. Application of mung bean decreased wheat seedling number,stem number in spring,and wheat yield.【Conclusion】Changwuhuai bean and soybean were better leguminous green manures for short-term application in summer.

Key words: leguminous green manure; winter wheat; yield; dry matter; nutrient accumulation

黄土高原是我国以生产小麦为主的古老旱作农业区,在我国农业生产上占有重要地位。但是该区长期存在水土流失、土壤贫瘠、作物低产等问题。近年来,随着人口持续增长和耕地不断减少,该地区对粮食生产的需求更加突出。因此,提高土壤肥力水平、增加粮食供给成为本地区的一项艰巨任务。施用有机肥、种植并翻压绿肥对培肥土壤和农作物增产有重要作用。

渭北旱塬是陕西省优质小麦的重要产区,由于该地区热量和水分不足,大部分种植作物一熟有余,两熟不足,因此夏季休闲较为普遍。在一年一熟的种植制度中,麦收后尚有 3 个月左右的休闲期,此期光照强烈,雨热同期。此时插播短期绿肥作物不仅可以充分利用夏季休闲期的降水和光温资源,加上地表被植被充分覆盖,还利于土壤水分保蓄。

我国绿肥资源丰富,但不同品种绿肥具有不同的培肥效果^[1]。豆科绿肥可以通过根瘤菌固定空气中的氮素,在相同条件下,比其他绿肥品种能生产出较高的生物产量和养分累积量^[2]。于凤芝等^[3]通过对禾本科、苋科、菊科、豆科和十字花科绿肥肥效进行比较,认为豆科绿肥肥料价值最高;并且作物茬口的土壤养分含量随种植年限的延长而增加,累加效应显著^[4]。但豆科绿肥因品种不同,提供的养分含量也有很大差异^[5-6]。因此,明确不同豆科绿肥养分累积规律以及探明翻压后其对小麦的生长及产量的影响,对渭北旱塬小麦生产具有重要意义。本试验通过研究长武怀豆、大豆、绿豆 3 种豆科绿肥养分累积规律,以及种植并翻压 3 种绿肥对小麦生长、产量和养分吸收的影响,以筛选出适宜当地夏闲期种植的短期豆科绿肥品种,旨在为促进黄土高原地区农业可持续发展提供理论依据和技术支持。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验地位于黄土高原中南部的陕西省长武县丁家镇十里铺村农技中心试验基地(107°44′703″E, 35°12′787″N),海拔 1 220 m,该地区地势平坦,属西北内陆暖温带半湿润大陆性季风气候,四季冷暖干

湿分明,农业生产全部依赖天然降水,年均气温 9.1℃,无霜期 171 d。热量丰富,年平均日照 2 226.5 h,积温 2 994℃,多年平均降水量为 584 mm,且季节性分布不均,多集中于夏秋季节,雨热同季。

试验地土壤为黄盖黏黑垆土,母质为中壤质马兰黄土,土层深厚,全剖面土质均匀疏松,通透性好,肥力中等。田间持水量为 22.4%,凋萎系数 9%。耕层土壤有机质、全氮含量分别为 12.0、0.79 g/kg,矿质氮含量为 13.74 mg/kg,pH 为 8.11,全磷含量为 0.66 g/kg,速效磷、速效钾含量分别为 24.6、161.39 mg/kg。试验区大部分耕层土壤氮缺乏,钾素丰富。研究区农业生产主要依赖生育期的天然降水和前期土壤蓄水,属于典型的旱作农业区,种植制度为典型的一年一熟或两年三熟。

1.2 试验设计

试验设夏季裸地休闲(对照)以及种植大豆、绿豆和长武怀豆共 4 个处理,每处理重复 3 次,小区面积 5 m×6 m=30 m²。

本试验为定位试验,自 2008 年以来每年的 6 月底收获小麦,7 月初播种绿肥,9 月上旬收获并将绿肥切碎翻压于土壤中,翻压深度 20 cm 左右,9 月底至 10 月初播种冬小麦。2008、2009 年绿肥种植前施用 P₂O₅ 40 kg/hm²,2010、2011 年绿肥种植前不施任何肥料。小麦播种前一次性施入氮肥和磷肥,施氮量为 108 kg/hm²,磷肥(P₂O₅)用量 120 kg/hm²。2011-07—2012-06 夏闲期(绿肥生长季)降水量为 471 mm,比多年同期平均降水量高 158 mm,小麦生长季降水量为 257 mm,与多年同期平均降水量(275 mm)相当。

1.3 测定项目与方法

2011 年自绿肥播种开始,每隔 10 d 采 1 次绿肥样,包括地上部分和地下部分,共 5 次,至翻压前(绿肥盛花期)绿肥生长期为 60 d。苗期每个小区随机采集 20 株;为了不影响绿肥生物量和还田效果,自第 3 次采样开始每小区采 10 株样品。在小麦生长季调查各处理小麦基本苗及返青期总茎数;至小麦收获时,每个小区分别计产,同时在每个小区采集 4 行长度 1 m 的小麦样品,用于测定小麦籽粒产量及

其三要素(穗数、穗粒数、千粒质量)及养分含量和收获指数。其中,收获指数=籽粒产量/地上部总生物量。

绿肥和小麦样品经 $\text{H}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}_2$ 消煮后,采用凯氏定氮仪测定全氮含量,采用钒钼黄比色法测定全磷含量,采用火焰光度计测定全 K 含量,有机 C 含量用 $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 外加热法测定^[7]。

采用 Microsoft Excel 处理数据,利用 SAS 软件

进行统计检验,Origin 8.5 进行作图。用新复极差法进行显著性检验。

2 结果与分析

2.1 3 种豆科绿肥干物质和养分累积的变化

3 种豆科绿肥干物质和氮、磷、钾累积的动态变化如图 1 所示。

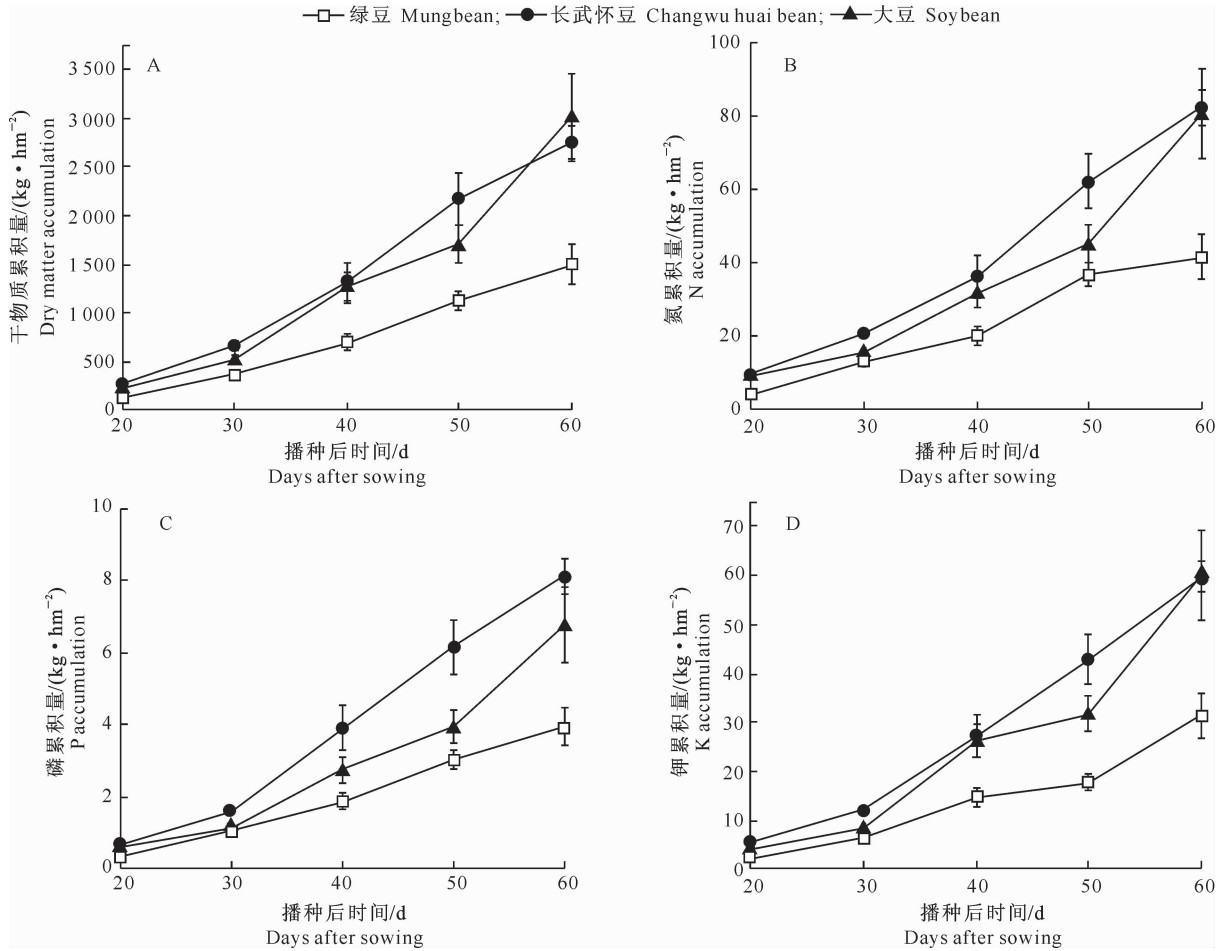


图 1 3 种豆科绿肥干物质(A)和氮(B)、磷(C)、钾(D)累积的动态变化

Fig. 1 Accumulation of dry matter (A) and N (B), P (C), K (D) of three leguminous green manures

2.1.1 干物质和养分累积的变化规律 由图 1-A 看出,绿肥整个生育期间,大豆和长武怀豆的干物质累积量(地上部+地下部)均明显高于绿豆;长武怀豆与大豆差异不明显。绿豆与长武怀豆干物质累积量于播种后 30~50 d 增长迅速,在 50~60 d 生长速度开始减慢;大豆干物质自播种至翻压前(0~60 d)一直累积较快,且在播种 55 d 后,有超过长武怀豆的趋势。

由图 1-B,C,D 还可以看出,3 种养分累积量(地上部+地下部)中以长武怀豆最高,绿豆最低;至翻

压前(60 d),大豆养分累积量与长武怀豆差异不明显。3 种豆科绿肥的氮、磷、钾与干物质的累积规律基本一致。

2.1.2 干物质和养分累积动态模型的拟合 长武怀豆和大豆的干物质及养分累积可以用 Logistic 方程 $Y=a/(1+be^{-kx})$ 进行拟合;大豆的干物质和养分累积可以用指数方程 $Y=ae^{kx}$ 进行拟合,经检验方程,均达到显著水平(表 1)。通过回归方程,求得其最大干物质累积速率及其出现时间,并结合绿肥翻压前测得的养分还田量,计算出了各绿肥干物质和

养分累积的平均速率。

由表 1 可知,长武怀豆的干物质和氮、磷、钾最大累积速率均明显高于绿豆,但二者的最大累积速

率均出现在播后 45 d 左右,无明显差异。长武怀豆和大豆的干物质和养分累积的平均速率均明显高于绿豆。

表 1 3 种豆科绿肥干物质和养分累积量(Y)与播后时间(x)的回归方程
Table 1 Regression equations for dry matter and nutrients accumulation of three leguminous green manures and time since sowing

指标 Index	绿肥 Green manure	回归方程 Regression equations	R^2	最大累积速率/ ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$) Maximum rate	最大累积速率出现时间/d Days to maximum rate	平均累积速率/ ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$) Average rate
干物质累积量 Dry matter accumulation	绿豆 Mung bean	$Y=1\,853.8/(1+79.8\text{e}^{-0.097\,0x})$	0.998 6	44.95	45	25.02
	长武怀豆 Changwuhuai bean	$Y=3\,269.4/(1+85.9\text{e}^{-0.102\,3x})$	0.999 3	83.62	44	45.82
	大豆 Soybean	$Y=121.9\text{e}^{0.005\,5x}$	0.977 1	—	—	50.27
氮累积量 N accumulation	绿豆 Mung bean	$Y=48.4/(1+76.2\text{e}^{-0.105\,1x})$	0.972 3	1.27	41	0.70
	长武怀豆 Changwuhuai bean	$Y=112.3/(1+60.4\text{e}^{-0.085\,6x})$	0.997 7	2.40	48	1.38
	大豆 Soybean	$Y=3.5\text{e}^{0.052\,1x}$	0.991 7	—	—	1.34
磷累积量 P accumulation	绿豆 Mung bean	$Y=4.9/(1+68.7\text{e}^{-0.094\,6x})$	0.996 0	0.12	45	0.07
	长武怀豆 Changwuhuai bean	$Y=9.5/(1+112.4\text{e}^{-0.107\,5x})$	0.997 4	0.25	44	0.14
	大豆 Soybean	$Y=0.3\text{e}^{0.052\,6x}$	0.986 4	—	—	0.11
钾累积量 K accumulation	绿豆 Mung bean	$Y=1.6\text{e}^{0.049\,9x}$	0.958 7	—	—	0.52
	长武怀豆 Changwuhuai bean	$Y=77.1/(1+85.2\text{e}^{-0.094\,3x})$	0.996 6	1.8	47	1.00
	大豆 Soybean	$Y=1.1\text{e}^{0.068\,5x}$	0.923 8	—	—	1.00

2.1.3 盛花期养分还田量比较 鉴于绿肥在盛花期全部还田,因此盛花期绿肥的养分吸收量即为养分还田量。长武怀豆和大豆的 N、P、K 还田量以及

大豆的 C 还田量均显著高于绿豆,还田量近乎为绿豆的 2 倍,长武怀豆与大豆养分还田量之间则无显著差异(表 2)。

表 2 3 种豆科绿肥盛花期养分还田量
Table 2 Application amounts of three leguminous green manures at full flowering stage kg/hm^2

绿肥 Green manure	氮还田量 N	磷还田量 P	钾还田量 K	C 还田量 C
绿豆 Mung bean	41.8±5.86 b	3.95±0.53 b	31.4±4.63 b	650.0 b
长武怀豆 Changwuhuai bean	82.5±4.69 a	8.12±0.47 a	59.8±3.32 a	1 017.5 ab
大豆 Soybean	80.5±12.2 a	6.80±1.03 a	60.2±9.14 a	1 277.3 a

注:同列数字后标不同小写字母者表示差异达显著水平($P<0.05$)。下表同。

Note: Different lowercase letters in the same column mean significant different ($P<0.05$). The same below.

2.2 种植并翻压 3 种豆科绿肥对后茬小麦生长和养分吸收的影响

2.2.1 小麦基本苗和返青期总茎数 与对照(夏季裸地休闲)相比,绿豆处理的小麦基本苗显著降低,长武怀豆与大豆处理小麦基本苗与对照无显著差异,绿豆处理的小麦基本苗显著低于长武怀豆处理。与对照相比,绿豆处理小麦返青期总茎数明显降低;长武怀豆与大豆处理的小麦返青期总茎数明显高于对照,但差异不显著,绿豆处理小麦返青期总茎数显著低于长武怀豆和大豆处理(图 2)。

2.2.2 小麦地上部生物量和养分吸收量 与对照相比,夏闲期种植并翻压长武怀豆和大豆均能显著提高小麦地上部生物量;种植绿豆也有增产的趋势,

但与对照差异不显著。3 种绿肥处理的小麦生物量较对照提高了 17%~31%。翻压绿肥能够明显提高小麦地上部的养分吸收量,其中长武怀豆、大豆和绿豆处理小麦地上部吸氮量、吸磷量、吸钾量分别提高了 47%,50%,55%;48%,39%,45%;30%,29%,40%,而 3 种绿肥处理之间没有显著差异(表 3)。

2.3 小麦籽粒产量及其三要素和收获指数

由表 4 可见,与对照相比,绿肥处理小麦籽粒产量提高了 16%~30%。夏闲期种植并翻压长武怀豆和大豆后,增加了小麦穗数,而绿豆处理则降低了穗数,这与其基本苗和返青期总茎数降低有关。3 种豆科绿肥处理对小麦穗粒数、千粒质量和收获指数的影响均不显著。

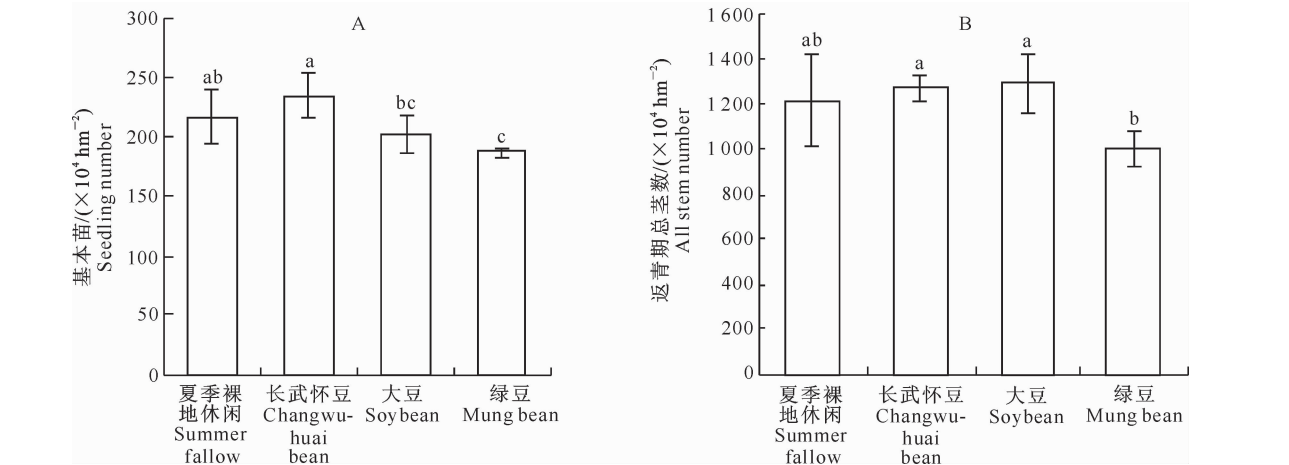


图 2 种植并翻压后不同豆科绿肥对后茬小麦基本苗(A)和返青期总茎数(B)的影响

Fig. 2 Effects of different leguminous green manures on seedling number (A) and stem number (B)

表 3 种植并翻压后不同豆科绿肥对后茬小麦地上部生物量和养分吸收量的影响

处理 Treatments	地上部生物量 Aboveground biomass	地上部吸氮量 Aboveground N uptake	地上部吸磷量 Aboveground P uptake	地上部吸钾量 Aboveground K uptake
夏季裸地休闲 Summer fallow	9 419.6±558.8 b	131.9±1.8 b	15.2±0.8 b	54.1±2.5 b
长武怀豆 Changwuhuai bean	12 367.5±1 296.7 a	193.9±14.3 a	22.8±1.6 a	84.0±9.3 a
大豆 Soybean	11 426.4±964.8 a	181.4±12.3 a	19.6±1.9 a	74.2±5.4 a
绿豆 Mung bean	11 026.3±1 007.2 ab	172.0±18.2 a	19.6±2.1 a	74.1±9.7 a

表 4 种植并翻压后不同豆科绿肥对后茬小麦籽粒产量及其三要素和收获指数的影响

处理 Treatments	籽粒产量/ (kg·hm ⁻²) Wheat yield	穗数/ (×10 ⁴ ·hm ⁻²) Spike number	穗粒数 Kernels per spike	千粒质量/g 1 000-kernel weight	收获指数 Harvest index
夏季裸地休闲 Summer fallow	4 876.0±76.7 b	519.5±34.4 ab	23.0±2.0 a	43.2±2.2 a	0.51±0.01 a
长武怀豆 Changwuhuai bean	6 319.7±695.2 a	572.0±110.5 ab	28.5±7.5 a	41.8±2.1 a	0.51±0.01 a
大豆 Soybean	6 013.0±516.3 a	694.8±137.0 a	22.4±3.1 a	44.3±0.8 a	0.52±0.01 a
绿豆 Mung bean	5 632.2±345.9 ab	464.5±31.2 b	29.3±5.7 a	44.1±3.2 a	0.51±0.02 a

3 讨论与结论

本研究中,长武怀豆与绿豆的干物质累积呈现快速增长之后缓慢增长的规律,这符合一般作物干物质累积的一般规律;而大豆的干物质在播种 50 d 以前较慢,之后迅速增加,这可能与大豆的生育期较长有关。徐本生等^[8]研究指出,夏大豆在始花期以前,生长缓慢,干物质积累较少;始花期以后生长加快,干物质积累量显著增加;结荚期至鼓粒期是干物质积累最快的时期。孙克刚等^[9]研究表明,夏大豆开花至鼓粒前(出苗后 50~71 d),处于营养生长与生殖生长并进阶段,这一时期茎叶旺盛生长,干物质急剧增加。

本研究中,3 种绿肥养分吸收动态与干物质累积的趋势一致,即随着时间的延长,均呈升高的趋势。王治国等^[10]对草木犀和沙打旺生物量累积和

氮、磷、钾吸收进行了研究,结果表明,前期养分吸收随着作物的生长而增加,达到一个高峰值以后其吸收速率低于生物量吸收速率,养分含量是呈抛物线变化的,但最终生物量决定着养分累积量。

多数研究认为,绿肥翻压时期一般应选择在其产量和养分含量最高时进行。翻压过早,植株幼嫩虽易腐解,但产量低,同时容易造成养分的流失;翻压过迟,植株木质化程度增加,不利于腐解。王秀芝^[11]认为,翻压时间一般应选择初花期、盛花期或豆荚期。张学上等^[12]对陕西省夏季短期豆科绿肥怪麻、绿豆和田菁不同翻压时期的研究表明,随着生育期的延长,绿肥干物质和吸氮量逐渐增加,结荚期压青比盛花期和蕾期效果更好,在腐解时间和土壤水分等适宜的条件下,翻压期应当后延,以提高肥效。封金玲等^[13]认为,作为夏季豆科绿肥,绿豆生长期短,盛花期根瘤固氮期较短,应该适当延期利

用。但也有研究表明,在半干旱地区,当降雨量低于历年平均降雨量时,虽然豌豆生物量在结荚期比在盛花期高,但是 N 素吸收量却没有明显增加,推迟翻压会增加土壤耗水量^[14]。因此,确定绿肥翻压时期时,除了要考虑绿肥生物量和养分含量,也要考虑绿肥腐烂特点及气象条件等^[15],以免影响后茬作物的生长。在渭北旱塬区,8—9 月份雨热资源充足,有利于绿肥腐解。因此,在麦收后要尽早播种绿肥,延长绿肥生育期,在绿肥盛花期前后根据当地天气,及时进行翻压,以免影响后茬小麦的生长。

本研究中,3 种绿肥由于生物量和养分还田量不同等产生了不同的培肥增产效果。Shah 等^[16]研究认为,随着翻压绿肥生物量的提高,后季玉米和小麦的产量和养分吸收量也随之增加。凌诚汉^[17]研究了种植并翻压怪麻、绿豆、田菁对小麦产量的影响,结果表明,在土壤肥力基础不高的情况下,小麦产量与掩青绿肥鲜草产量呈正相关,绿肥鲜质量由大到小依次为怪麻>绿豆>田菁。廖明莉等^[18]发现,在四川丘陵旱地上南选山黧豆、扁荚山黧豆、箭舌豌豆和光叶紫花苕 4 种豆科绿肥与小麦间作时,小麦产量有显著差异,鲜草和干草产量均以南选山黧豆最高,对土壤养分积累和小麦增产效应最大。本研究结果表明,翻压豆科绿肥处理的小麦产量和养分吸收量均高于夏季裸地休闲处理,这与绿肥培肥作用有关:3 种绿肥通过盛花期翻压提供了氮素 41.8~82.5 kg/hm²、磷素 3.95~8.12 kg/hm²、钾素 31.4~60.2 kg/hm²。本研究中,绿豆处理的小麦籽粒产量略低于大豆和长武怀豆处理,一方面可能与其养分还田量较少有关;另一方面种植并翻压绿豆后,小麦基本苗和返青期总茎数也明显降低,而造成单位面积穗数下降,但因为其穗粒数较高,因此并没有导致小麦籽粒产量显著下降,但在 3 种绿肥处理中籽粒产量最低。赵娜等^[19]和 Mat Hassan 等^[20]在试验中也发现,翻压绿肥对小麦生长有一定的影响,分析原因可能是绿肥在腐解过程中产生了化感物质,从而抑制了小麦出苗和苗期生长,此问题还有待进一步研究。综合分析可知,在渭北旱塬地区,长武怀豆和大豆的干物质累积量和养分吸收量均较高,且其翻压后后茬小麦养分吸收量和籽粒产量均较高,为该地区适宜的短期豆科绿肥品种。

[参考文献]

- [1] Li J H, Jiao S M, Gao R Q, et al. Differential effects of legume species on the recovery of soil microbial communities, and carbon and nitrogen contents, in abandoned fields of the Loess Plateau [J]. *Environmental Management*, 2012, 50 (6): 1193-1203.
- [2] 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]. *Soil and Fertilizer Sciences in China*, 2009 (4): 1-3. (in Chinese)
- [3] 于凤芝, 曹卫东, 高同彬, 等. 黑龙江主要绿肥品种肥料价值和饲料价值的比较 [J]. *中国土壤与肥料*, 2010 (4): 69-72.
Yu F Z, Cao W D, Gao T B, et al. The comparison of fertilizer and fodder value between main green manure varieties in Heilongjiang province [J]. *Soil and Fertilizer Sciences in China*, 2009 (4): 69-72. (in Chinese)
- [4] 党廷辉. 黄土旱塬区轮作培肥试验研究 [J]. *土壤侵蚀与水土保持学报*, 1998, 4 (3): 44-47.
Dang T H. Influence of crop rotation on soil fertility in arid-highland of Loess Plateau [J]. *Journal of Soil Erosion and Soil and Water Conservation*, 1998, 4 (3): 44-47. (in Chinese)
- [5] 线琳, 刘国道, 邹恒福, 等. 施用豆科绿肥对砖红壤有效磷含量的影响 [J]. *草业科学*, 2011, 28 (10): 1781-1786.
Xian L, Liu G D, Xun H F, et al. Effects of application of the leguminous green manures on phosphorous content in latosol soil [J]. *Pratacultural Science*, 2011, 28 (10): 1781-1786. (in Chinese)
- [6] 李银平, 徐文修, 陈冰, 等. 绿肥种植模式对连作棉田土壤肥力及棉花产量的影响 [J]. *西北农业学报*, 2010, 19 (9): 149-153.
Li Y P, Xu W X, Chen B, et al. Effect of different planting patterns of green manures on soil fertility and cotton yield [J]. *Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica*, 2010, 19 (9): 149-153. (in Chinese)
- [7] 鲍士旦. 土壤农化分析 [M]. 3 版. 北京: 中国农业出版社, 2000.
Bao S D. Analysis of soil and agricultural chemistry [M]. 3rd edition. Beijing: China Agriculture Press, 2000. (in Chinese)
- [8] 徐本生, 籍玉尘, 杨建堂, 等. 夏大豆的干物质积累和氮磷钾吸收分配动态的研究 [J]. *大豆科学*, 1989, 8 (1): 47-54.
Xu B S, Ji Y C, Yang J T, et al. Studies on the rules of dry matter accumulation and the absorption distribution of nitrogen, phosphorus and potassium for soybean [J]. *Soybean Science*, 1989, 8 (1): 47-54. (in Chinese)
- [9] 孙克刚, 王英, 李贵宝, 等. 夏大豆干物质积累和分配数学模拟研究 [J]. *大豆科学*, 1996, 15 (3): 274-277.
Sun K G, Wang Y, Li G B, et al. Research in mathematical models on the accumulation and the distribution of dry matters of summer soybean [J]. *Soybean Science*, 1996, 15 (3): 274-277. (in Chinese)
- [10] 王治国, 陈冰, 饶晓娟, 等. 绿肥养分吸收规律研究 [J]. *新疆农业大学学报*, 2008, 31 (2): 47-50.
Wang Z G, Chen B, Rao X J, et al. Study on absorption law of green manure [J]. *Journal of Xinjiang Agricultural University*

ty,2008,31(2):47-50. (in Chinese)

[11] 王秀芝.绿肥对土壤的培肥改土作用和合理利用技术 [J]. 安徽农学通报,2006,11(6):89-92.
Wang X Z. The effect of green manures on improvement in soil fertility and the utilization technology [J]. Anhui Agricultural Science Bulletin,2006,11(6):89-92. (in Chinese)

[12] 张学上,封金玲,赵俊杰. 几种豆科绿肥作物不同生育期养分和品质的变化对压青肥效的影响 [J]. 陕西农业科学,1980(5):6-9.
Zhang X S,Feng J L,Zhao J J. The effects of variation in nutrient and quality in several leguminous green manures on green manuring during different periods [J]. Shaanxi Journal of Agricultural Sciences,1980(5):6-9. (in Chinese)

[13] 封金玲,赵俊杰. 绿豆不同生长期植株养分及茬地肥效 [J]. 陕西农业科学,1990(4):33.
Feng J L,Zhao J J. Nutrient in mungbean during different periods and its effect on soil fertility [J]. Shaanxi Journal of Agricultural Sciences,1990(4):33. (in Chinese)

[14] Mc Cauley A M,Jones C A,Miller P R,et al. Nitrogen fixation by pea and lentil green manures in a semi-arid agroecoregion:Effect of planting and termination timing [J]. Nutrient Cycling in Agroecosystems,2012,92:305-314.

[15] 何三家,梁庆海. 提高绿肥肥效的研究 [J]. 土壤通报,1980(4):17-19.
He S J,Liang Q H. The study on improvement of green manure efficiency [J]. Chinese Journal of Soil Science,1980(4):17-19. (in Chinese)

[16] Shah Z,Ahmad S R,Latif A,et al. Rice wheat yields in relation to biomass of green manure legumes [J]. Sarhad Journal of Agriculture,2011,27(1):73-84.

[17] 凌诚汉. 几种旱地绿肥产草量及掩青对小麦增产效果的研究 [J]. 河南科技,1980(3):56-59.
Ling C H. Biomass of several green manures in dry land and the effects on wheat yield after incorporation [J]. Journal of Henan Science and Technology,1980(3):56-59. (in Chinese)

[18] 廖明莉,韩文斌,谢树果,等. 四种豆科绿肥与小麦间作的效应研究 [J]. 西华师范大学学报:自然科学版,2012,33(4):366-370.
Liao M L,Han W B,Xie S G,et al. Study on intercropping effects of four kinds of leguminous green manure with wheat [J]. Journal of China West Normal University:Natural Sciences,2012,33(4):366-370. (in Chinese)

[19] 赵娜,赵护兵,鱼昌为,等. 夏闲期种植翻压绿肥和施氮量对冬小麦生长的影响 [J]. 西北农业学报,2010,19(12):41-47.
Zhao N,Zhao H B,Yu C W,et al. Effect of green manure in summer fallow period and nitrogen rate on winter wheat growth [J]. Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica,2010,19(12):41-47. (in Chinese)

[20] Mat Hassan H,Marschner P,McNeill A,et al. Grain legume pre-crops and their residues affect the growth,P uptake and size of P pools in the rhizosphere of the following wheat [J]. Biology and Fertility of Soils,2012,48:775-785.

(上接第 110 页)

[12] 杨云贵,常庆瑞,陈涛,等. 陕北农牧交错带土地资源质量评价 [J]. 干旱地区农业研究,2006,24(3):127-131,135.
Yang Y G,Chang Q R,Chen T,et al. Evaluation on the land resource quality of the cross area of agriculture and ranch in Northern Shaanxi [J]. Agricultural Research in the Arid Areas,2006,24(3):127-131,135. (in Chinese)

[13] 张海涛,周勇,汪善勤,等. 利用 GIS 和 RS 资料及层次分析法综合评价江汉平原后湖地区耕地自然地力 [J]. 农业工程学报,2003(2):219-223.
Zhang H T,Zhou Y,Wang S Q,et al. Natural productivity evaluation of cultivated land based on GIS and RS data in Houhu farm of Jiangnan plain [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering,2003(2):219-223. (in Chinese)

[14] 王良杰,赵玉国,郭敏,等. 基于 GIS 与模糊数学的县级耕地地力质量评价研究 [J]. 土壤,2010,42(1):131-135.
Wang L J,Zhao Y G,Guo M,et al. Evaluation of farmland productivity based on GIS and fuzzy mathematics theory at county level [J]. Soils,2010,42(1):131-135. (in Chinese)

[15] 康家瑞,刘志斌,杨荣斌. 基于 GIS 的土地生态适宜性模糊综合评价 [J]. 系统工程,2010,28(9):112-117.
Kang J R,Liu Z B,Yang R B. Fuzzy comprehensive evaluation of ecological suitability of land based on GIS [J]. Systems Engineering,2010,28(9):112-117. (in Chinese)