

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

李可懿¹, 王朝辉¹, 赵护兵¹, 赵娜¹, 高亚军¹, Graham Lyons²

(1. 西北农林科技大学资源环境学院, 陕西 杨凌 712100;

2. Waite Analytical Services School of Agriculture, Food and Wine University of Adelaide, South Australia 5064)

摘 要: 小麦与豆科绿肥轮作和合理施用氮肥对黄土高原旱地缺素地区具有特别重要意义。本试验以夏休闲为对照, 比较了小麦与绿豆、大豆、秋豆轮作和氮肥水平(0、108、135、162 kg/hm²)对小麦产量和籽粒养分的影响。结果表明, 小麦与豆科绿肥轮作, 在黄土高原旱地受水分限制影响, 小麦产量降低 9.7%~26.6%; 同时, 与休闲处理相较, 小麦籽粒养分携出量显著降低或表现出降低的趋势, 其中, 与绿豆轮作, 小麦籽粒养分携出量降低最多, 为 10.5%~29.3%, 大豆次之, 为 3.1%~12.8%, 与当地大豆品种秋豆轮作, 小麦籽粒养分携出量降低最少, 为 0.98%~11.7%。然而, 小麦籽粒营养成分元素锌、磷、钾、钙、镁的含量与休闲处理相比, 分别增加 22.0%、18.5%、8.8%、7.9%、7.8%。小麦与绿肥轮作后, 108 kg N/hm²(当地常规施氮量的 80%)获得了较高小麦生物量和产量。同时, 随施氮量的增加, 小麦籽粒氮、硫、钙、铁、铜、锌的含量和养分携出量均表现出增加趋势; 小麦籽粒含磷量和养分携出量有下降趋势; 小麦籽粒锰含量呈现降低趋势但养分携出量增加; 钾、镁的含量和养分携出量随施氮量无显著变化。

关键词: 轮作; 豆科绿肥; 小麦; 产量; 营养元素; 养分携出量

中图分类号: S344.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2011)02-0110-07

植物必需的大量营养元素氮、磷、钾, 中量元素硫、钙、镁, 微量元素铁、锰、铜、锌等是作物多种酶和细胞的组成成分或触发因子, 对促进人体新陈代谢, 增强人体免疫, 协调人体机能、延缓衰老、维持健康起着十分重要的作用^[1]。然而, 全球有 60% 的耕地土壤矿质营养元素缺乏, 50% 的人口受到微量元素缺乏的影响, 一些以谷物为蛋白质和能量主要来源的发展中国家, 微量元素缺乏的问题更加普遍^[2]; 其中, 占世界人口 1/6 的营养不良人群中大约有 70% 分布在印度和中国^[3,4]。小麦是我国仅次于水稻的第二大粮食作物, 是北方的主要粮食作物。因此, 提高小麦的矿质营养对提高我国人民健康水平具有重要意义。

在我国, 豆科绿肥栽培利用历史悠久, 几十年前, 中国基本没有化肥工业, 主要依靠绿肥和农家肥。据测算, 0.15 亿 hm² 绿肥每年养分生产能力相当于 500 万 t 尿素、410 万 t 硫酸钾。种植豆科绿肥对改良土壤肥力、减少化肥施用和提高水分利用率具有重要作用^[5~7], 也为我国农民带来了切实效益, 在西藏^[8]、新疆^[9]、贵州^[10]与豆科绿肥轮作, 小麦产量比单作平均分别增加 18.0%、16.1% 和 38.0%。

研究也证实种植豆科绿肥可提升小麦品质, Galantina 等^[11]在阿根廷证明, 与豆科作物轮作, 不仅小麦产量提高, 蛋白质含量和产量各要素都优于与其他作物轮作。樊虎玲等^[12]在黄土高原地区的小麦一苜蓿一马铃薯轮作试验也表明, 小麦面团筋力和强度增强, 延展性降低, 总氨基酸含量提高。然而, 与豆科绿肥轮作后, 小麦矿质营养元素含量如何变化, 还未见报道。在黄土高原旱地, 虽然除锌外, 土壤铁、锰全量均较高, 但因受土壤类型、酸碱度(pH)、氧化还原电位(Eh)等因素影响, 这些微量元素的有效性含量均很低^[13]。同时, 干旱环境下, 作物对养分的吸收受到限制, 导致作物可食部位氮、铁、锰等元素含量降低^[14,15]。2009 年对全国主要麦区小麦的测定(资料另文发表)表明, 黄土高原旱地小麦籽粒铁、锰、铜、锌含量分别比全国平均水平低 7.7%、9.2%、42.9% 和 6.3%。因此, 提高黄土高原旱地土壤养分有效性和作物营养元素含量, 显得十分迫切。本研究比较了与不同豆科绿肥轮作对小麦产量和籽粒营养元素含量的影响, 以期为提高黄土高原旱地小麦籽粒营养元素含量, 改善当地人们营养状况提供理论依据和可行的轮作栽培措施。

收稿日期: 2010-09-30

基金项目: 国家自然科学基金项目(30871596); 农业公益性行业科研专项(200803029); 现代农业产业技术体系建设专项资金

作者简介: 李可懿(1986—), 女, 甘肃平凉人, 硕士生, 主要从事施肥与环境研究工作。

通讯作者: 王朝辉, 博士, 教授, 博士生导师。E-mail: w_zhaohui@263.net。

1 材料与方法

1.1 试验地点

试验于 2008~2009 年在黄土高原中南部的陕西省长武县十里铺村(107°40'30"E 和 35°12'00"N)进行。该地区半干旱气候,平均海拔 1 220 m,年均温度 9.1℃、降水 568 mm,且降水主要集中在 6 月到 9 月(图 1)。全年无霜期 194 d,太阳辐射 5 266 MJ/m²,潜在蒸发量 967 mm。试验地基本理化性状为有机质 11.8 g/kg,全氮 0.79 g/kg,硝态氮 13.9 mg/kg,铵态氮 10.4 mg/kg,速效磷 24.6 mg/kg,速效钾 143.4 mg/kg,有效硫 29.7 mg/kg,交换性钙 14 082.9 mg/kg,交换性镁 240.6 mg/kg,有效铁 3.3 mg/kg,有效锰 1.3 mg/kg,有效铜 0.72 mg/kg,有效锌 0.33 mg/kg,阳离子交换量 17.6 cmol/kg,pH8.1。

1.2 试验设计

试验共 16 个处理,主处理为 4 种轮作方式:夏休闲—小麦,绿豆—小麦,大豆(秦豆 8 号)—小麦,秋豆(当地大豆品种)—小麦;副处理为 4 个施氮水平:不施氮肥,施氮(N)108 kg/hm²(当地农户常用施氮量的 80%),135 kg/hm²(当地农户常用施氮量)和 162 kg/hm²(当地农户常用施氮量的 120%)。试验为裂区设计,主区面积 6 m×60 m=360 m²,副区面积 5 m×6 m=30 m²,小区间距 30 cm,重复 3 次。2008 年 6 月 29 日播种豆科绿肥前不施氮肥,仅施磷肥(P₂O₅)40 kg/hm²;9 月 2 日收获豆科绿肥并将其翻压入土,10 月 2 日播种冬小麦前一次施入不同水平氮肥和磷肥(P₂O₅)120 kg/hm²。2009 年 6 月 17 日收获小麦。

1.3 样品采集与测定

1.3.1 植物样品的采集与测定 小麦收获采用全区收获法计产。同时采集分析样品,用不锈钢剪刀沿土表将小麦地上部分剪下,分为茎叶和穗两部分。脱粒麦穗,分别称量颖壳、茎叶、籽粒鲜重,然后在 90℃杀青 30 min,65℃烘至恒重。烘干样采用旋风磨粉碎,H₂SO₄—H₂O₂湿法消解,凯氏定氮法测定籽粒氮含量,磷、钾、硫、钙、镁以及铁、锰、铜、锌的含量由澳大利亚阿德莱德大学农业与葡萄酒学院维特分析中心(Waite Analytical Services, School of Agriculture and Wine, University of Adelaide)采用电感耦合等离子体发射光谱仪(ICP—AES)测定。数据分析采用 Excel 2003 程序和 SAS 9.0 统计分析软件。

1.3.2 土壤样品的采集与测定 在绿肥播前(2008 年 6 月 22 日)采集 0~20 cm 表层土壤。土样风干、研磨过 1 mm 和 0.15 mm 筛后用于其它项目测定土

壤有机质、pH(H₂O)、阳离子交换量(CEC)和土壤养分含量。

其中,土壤水分用烘干法进行测定,有机质用 TOC 仪测定,pH 用电位法,CEC 用乙酸钠—火焰光度法,全氮用凯氏法,矿质氮用 1 M KCl 浸提—连续流动分析法测定,速效磷用碳酸氢钠—钼锑抗比色法,速效钾用醋酸铵—火焰光度法,土壤交换性钙镁用乙酸铵交换原子吸收分光光度法,土壤有效铜、锌、铁、锰用 DTPA—TEA 浸提—原子吸收法测定。

2 结果分析

2.1 小麦与豆科绿肥轮作对土壤水分含量的影响

在黄土高原旱地,降水分布不均,在 2008~2009 年陕西长武地区降雨主要集中在 6~9 月,而小麦生长季节的降水仅占到全年降水的 30.2%。2008 年绿肥收获后(即翻压前)和翻压 4 周后(即小麦播前)0~200 cm 土壤剖面含水量结果表明,夏闲期种植豆科绿肥显著降低了土壤水分。与夏季休闲相比,种植绿豆、大豆、秋豆后,小麦播前 0~200 cm 土壤平均水分含量分别降低 11.0%、12.3%和 14.1%。绿肥翻压后,虽然在 0~40 cm 土壤表层水分有所补给,但种植绿肥处理的土壤贮水量仍低于休闲处理,长武怀豆、大豆和绿豆处理的贮水量分别为 227.8、222.5 和 219.8 mm,而休闲处理为 241.1 mm。

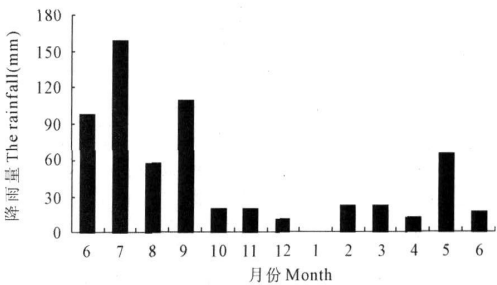


图 1 2008 年 6 月~2009 年 6 月陕西长武地区的降雨量
Fig.1 The rainfall of Changwu in Shaanxi Province between June 2008 and June 2009

2.2 小麦与豆科绿肥轮作对小麦产量和生物量的影响

夏季休闲时,小麦生物量和产量随施氮量增加有增加趋势;小麦与豆科绿肥轮作,小麦生物量和产量均在施氮 108 kg/hm² 时较高。可见,与豆科作物轮作后,小麦对氮肥的需求减少。但与休闲相比,与豆科绿肥轮作后,小麦生物量和产量显著降低。与绿豆轮作,小麦生物量和产量下降较多,分别降低 29.5%和 26.6%;与大豆轮作次之,为 16.8%和 12.3%;与秋豆轮作下降较少,为 15.8%和 9.7%。

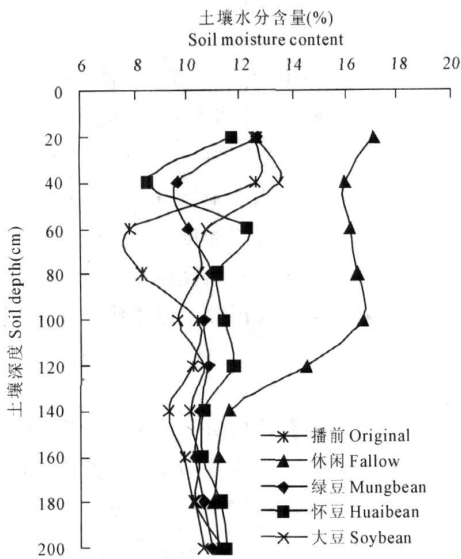


图 2 2008 年绿肥收获后土壤水分含量(%)

Fig.2 Soil moisture content after green manure harvested

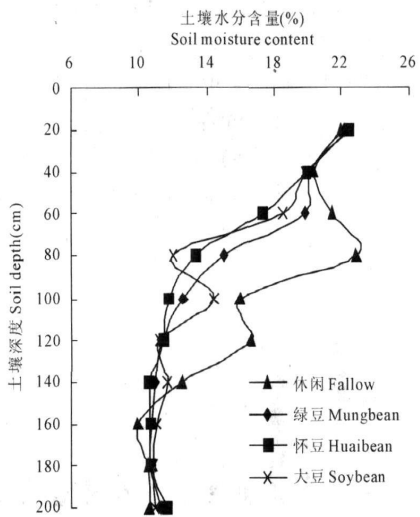


图 3 2008 年绿肥翻压 4 周后土壤水分含量(%)

Fig.3 Soil moisture content after 4 weeks incorporation of green manures

2.3 小麦与豆科绿肥轮作对小麦籽粒大量营养元素含量的影响

小麦与豆科绿肥轮作,小麦籽粒营养元素磷、钾含量比休闲处理均显著提高,其中磷含量提高10.1%~22.0%;钾含量提高5.8%~10.2%。小麦籽粒氮含量在与秋豆轮作后显著提高,但与绿豆、大豆轮作小麦氮含量无明显变化。可见,小麦与豆科绿肥轮作,提高小麦籽粒大量营养元素含量的作用与豆科作物种类有关,与当地大豆品种秋豆轮作,氮、磷、钾含量均显著提高,与绿豆轮作不利于提高小麦籽粒氮含量,与大豆轮作提高了磷、钾含量。

小麦与豆科绿肥轮作,小麦籽粒养分氮、磷、钾的携出量变化显著。小麦与绿豆、大豆轮作后,小麦籽粒氮、磷和钾的携出量分别显著降低28.4%和12.8%,10.4%和3.1%及21.0%和7.3%;而与秋豆轮作,小麦籽粒的氮、磷和钾携出量与休闲处理无显著差异。

随氮肥用量增加,小麦籽粒氮含量和养分携出量都表现出增加趋势;磷含量却呈现降低趋势;钾含量增减趋势不明显。

表 1 小麦与豆科绿肥轮作对小麦产量和生物量的影响			
Table 1 The effect of legume-wheat rotation on biomass and yield of wheat			
轮作方式 Rotation type	施氮水平 (kg/hm ²) N level	生物量 (kg/hm ²) Biomass	产量 (kg/hm ²) Yield
休闲—小麦 Fallow—wheat	0	10401abA	5789aA
	108	10040bA	5651aA
	135	11349aA	6231aA
	162	11317aA	6280aA
	平均 Average	10777A	5988A
绿豆—小麦 Mung bean—wheat	0	6964aC	4073aC
	108	7993aB	4565aB
	135	7982aB	4587aC
	162	7453aC	4357aC
	平均 Average	7598C	4396C
大豆—小麦 Soybean—wheat	0	8501aB	5012aB
	108	9181aAB	5329aA
	135	9069aB	5216aBC
	162	9108aB	5443aB
	平均 Average	8965B	5250B
秋豆—小麦 Qiubean—wheat	0	8820aB	5249aAB
	108	9611aA	5709aA
	135	8886aB	5305aB
	162	8973aB	5356aB
	平均 Average	9073B	5405B

注:小写字母代表每种轮作方式中不同氮水平间的差异,大写字母代表相同氮水平不同轮作方式间的差异。平均值是同一轮作方式不同氮水平的平均值,后面的大写字母表示不同轮作方式的平均差异显著性。 $P>0.05$,下同。

Note ;Lowercase letters stand for differences of N levels within each rotation type, while capital letters mean differences of rotation type with the same amount of N input. The average is the mean of different N levels within one rotation type, and the capital letters followed denote differences among different rotation types. $P>0.05$, and they are the same in the follows.

2.4 小麦与豆科绿肥轮作对小麦籽粒中量营养元素含量的影响

小麦与豆科绿肥轮作,小麦籽粒营养元素钙、镁含量比休闲处理均显著提高,其中钙含量提高6.6%

~12.5%; 镁含量提高 1.7%~6.4%。与绿豆轮作, 小麦籽粒硫含量比夏季休闲降低 4.0%, 与秋豆、大豆轮作, 小麦硫含量无明显变化。与不同豆科绿肥轮作, 小麦籽粒营养元素变化不同, 与当地大豆品种秋豆轮作, 小麦籽粒钙、镁含量显著提高, 与绿豆轮作降低了小麦籽粒硫含量, 与大豆轮作可提高钙含量。

小麦与豆科绿肥轮作, 小麦籽粒养分硫、钙、镁

携出量显著降低。与绿豆轮作小麦籽硫、钙、镁携出量降低最多, 分别降低 29.3%、21.7%和 21.1%; 与大豆轮作次之, 分别降低 10.1%、8.7%和 9.9%, 与秋豆轮作降低最少, 为 7.1%、0.8%和 4.2%。

随氮肥用量增加, 小麦籽粒硫、钙含量表现出增加趋势, 而镁含量却呈现降低趋势。小麦籽粒硫、钙的携出量随施氮量的增加显著增加, 而小麦籽粒镁的携出量随氮肥变化趋势不明显。

表 2 与豆科绿肥轮作对小麦籽粒大量营养元素含量和养分携出量的影响

Table 2 The effect of legume-wheat rotation on content and absorbed amount of large elements of wheat grains

轮作方式 Rotation type	施氮量 N level (N kg/hm ²)	小麦籽粒 N 含量 N content of wheat grains (g/kg)	小麦籽粒 N 携出量 N-absorbed amount (kg/hm ²)	小麦籽粒 P 含量 P content of wheat grains (g/kg)	小麦籽粒 P 携出量 P-absorbed amount (kg/hm ²)	小麦籽粒 K 含量 K content of wheat grains (g/kg)	小麦籽粒 K 携出量 K-absorbed amount (kg/hm ²)
休闲—小麦 Fallow—wheat	0	23aA	133bA	2.8aC	16.0abB	3.4abC	19.9cA
	108	23aA	147aA	2.7aB	16.6aAB	3.3bB	21.2bA
	135	24aA	130bA	2.7aC	15.4bB	3.4abB	18.8dB
	162	25aB	153aA	2.7aC	16.7aAB	3.6aB	22.2aA
	平均 Average	24B	141A	2.7C	16.2B	3.4C	20.5A
绿豆—小麦 Mungbean—wheat	0	23aA	92bC	3.7aA	14.9aC	3.9aA	15.7bC
	108	23aA	104abC	3.2bA	14.5aC	3.7bA	16.4abC
	135	23aA	107aB	3.2bA	14.8aB	3.6bA	16.7aC
	162	24aB	103abC	3.2bA	13.9aC	3.7bB	16.0abD
	平均 Average	23B	101C	3.3A	14.5C	3.7AB	16.2C
大豆—小麦 Soybean—wheat	0	22bA	110bB	3.2aB	15.9aBC	3.7aB	18.4bB
	108	24aA	118bB	2.9bA	15.6aB	3.6aA	19.0abB
	135	23abA	131aA	3.0abBC	15.6aB	3.6aA	19.4aB
	162	25aB	132aB	2.9bB	15.8aB	3.6aB	19.4aC
	平均 Average	24B	123B	3.0B	15.7B	3.6BC	19.0B
秋豆—小麦 Qiubean—wheat	0	23bA	122cAB	3.3aB	17.5aA	3.8abAB	19.8bcA
	108	25bA	129bcB	3.1aA	17.0aA	3.8abA	19.5cB
	135	24bA	141abA	3.1aAB	17.9aA	3.7bA	21.5aA
	162	28aA	148aA	3.3aA	17.5aA	3.8aA	20.5bB
	平均 Average	25A	135A	3.2A	17.5A	3.8A	20.3A

2.5 小麦与豆科绿肥轮作对小麦籽粒微量元素含量的影响

与小麦播前进行夏季休闲相比, 小麦与不同豆科作物轮作, 小麦籽粒锌含量均显著提高。与绿豆、大豆和秋豆轮作, 锌含量分别提高 30.4%、8.9%和 26.8%。与大豆轮作, 小麦籽粒铁含量有明显增加趋势。与秋豆轮作, 铜含量为 5.3 mg/kg, 显著高于夏季休闲的 5.0 mg/kg; 与绿豆轮作, 铝含量提高 33.0%。小麦与不同豆科绿肥轮作, 对小麦籽粒锰含量无显著影响。可见, 小麦与大豆类豆科作物轮作后, 可提高对人体健康有益的营养元素铜或锌含

量; 小麦与绿豆轮作虽可显著提高小麦籽粒锌的含量, 但同时也使有毒元素铝的含量提高。

小麦与豆科绿肥轮作, 小麦籽粒养分铁、锰、铜携出量显著降低。其中, 与绿豆轮作小麦籽铁、锰、铜携出量降低最多, 分别降低 26.8%、25.5%和 26.7%; 与大豆和秋豆轮作降低较少, 分别为 7.9%、11.5%、10.0%和 11.7%、11.1%、3.3%。小麦籽粒锌携出量在与当地大豆品种秋豆轮作后显著提高了 13.9%, 而铝的携出量并无显著影响。

随施氮量增加, 小麦籽粒锌、铝含量无显著差异; 铁、铜含量随施氮量的增加有升高的趋势; 锰含

量却随施氮量增加表现出降低的趋势。小麦籽粒铜、锰、锌、铝的携出量随施氮量的增加均表现出增加的趋势。携出量随施氮量的增加显著增加,而小麦籽粒铁、

表 3 与豆科绿肥轮作对小麦籽粒中量营养元素含量和养分携出量的影响
Table 3 The effect of legume-wheat rotation on content and absorbed amount of medium elements of wheat grains

轮作方式 Rotation type	施氮量 N level (N kg/hm ²)	小麦籽粒 S 含量 S content of wheat grains (g/kg)	小麦籽粒 S 携出量 S-absorbed amount (kg/hm ²)	小麦籽粒 Ca 含量 Ca content of wheat grains (g/kg)	小麦籽粒 Ca 携出量 Ca-absorbed amount (kg/hm ²)	小麦籽粒 Mg 含量 Mg content of wheat grains (g/kg)	小麦籽粒 Mg 携出量 Mg-absorbed amount (kg/hm ²)
休闲—小麦 Fallow—wheat	0	1.6bA	9.2cA	0.37aA	2.1aA	1.2aC	7.1bA
	108	1.7aAB	10.5aA	0.37aB	2.3aA	1.2abA	7.5aA
	135	1.7abA	9.8bA	0.37aA	2.3aAB	1.2abA	6.7cB
	162	1.6abB	10.3abA	0.37aC	2.3aB	1.2bB	7.3abA
	平均 Average	1.7A	9.9A	0.38C	2.3A	1.2B	7.1A
绿豆—小麦 Mungbean—wheat	0	1.5bA	6.2bC	0.38bA	1.5bC	1.3aA	5.4bD
	108	1.6aB	7.3aC	0.41abA	1.9aB	1.3bA	5.7aC
	135	1.6abA	7.5aC	0.41abA	1.9aC	1.2bA	5.6abD
	162	1.6aB	7.1aC	0.43aB	1.9aC	1.3bA	5.4bD
	平均 Average	1.6B	7.0D	0.41B	1.8C	1.3A	5.6D
大豆—小麦 Soybean—wheat	0	1.6bA	7.9bB	0.36cA	1.8cB	1.3aBC	6.3aC
	108	1.7aAB	8.9aB	0.39bcAB	2.1bA	1.2bA	6.3aB
	135	1.7aA	9.1aB	0.41abA	2.1bB	1.2abA	6.3aC
	162	1.7aB	9.1aB	0.45aAB	2.4aAB	1.2bB	6.4aC
	平均 Average	1.7A	8.7C	0.40AB	2.1B	1.2B	6.4C
秋豆—小麦 Qibean—wheat	0	1.6cA	8.2cB	0.39cA	2.0cA	1.3aAB	6.8abB
	108	1.8bA	9.0bB	0.41bcA	2.3bA	1.2bA	6.6bB
	135	1.7bA	9.8aA	0.43bA	2.3bA	1.2abA	7.0aA
	162	1.9aA	9.9aA	0.47aA	2.5aA	1.3abA	6.7abB
	平均 Average	1.7A	9.2B	0.42A	2.3A	1.3A	6.8B

3 讨 论

不少研究表明,小麦与豆科绿肥轮作,提高了小麦产量^[5,8,10],但本试验中夏季种植绿肥,后茬小麦产量明显降低。黄土高原旱地,土壤水分是提高作物产量的关键限制因素,小麦总有效水利用的 68% 来自生长季节降雨^[5],而当地小麦生长季节的降水仅占到全年降水的 30.2%(图 1),因此播前来源于夏季降水的土壤贮水成了小麦产量的决定因素^[5]。试验中小麦产量降低的原因是夏季种植豆科绿肥会消耗土壤水分,降低了后茬作物小麦的可用水量。与夏季休闲相比,种植绿豆、大豆、秋豆后,小麦播前 0~200 cm 土壤平均水分含量分别降低 11.0%、12.3% 和 14.1%(图 3),影响了小麦生长季节水分的供应。

目前,小麦与豆科绿肥轮作对小麦营养元素含量影响的报道还未见到。其他长期试验证明,玉米—燕麦—苜蓿—苜蓿轮作提高了玉米籽粒中的磷、

钾含量,降低了镁、铁、锌含量^[16]。小麦与豆科间作的盆栽试验表明,小麦根系磷、钾、铁、锌、锰含量增加,小麦籽粒氮、磷、钾和铁含量增加^[15]。本研究发现,小麦与豆科绿肥轮作,小麦籽粒磷和锌含量显著增加 18.5%和 22.0%;钾增加 8.8%;钙增加 7.9%;镁增加 7.8%;且与不同豆科绿肥轮作,小麦籽粒营养元素变化不同,小麦与当地大豆品种秋豆轮作,提高了小麦籽粒营养元素氮、磷、钾、钙、镁、铜、锌含量;与大豆轮作,磷、钾、钙、锌含量明显提高;与绿豆轮作,降低了小麦籽粒硫含量,却提高了磷、钾、钙、镁、锌和铝的含量。

小麦与豆科绿肥轮作,小麦籽粒营养元素含量提高的原因较复杂,原因之一是豆科绿肥根系伸长生长产生的分泌物以对土壤深层养分的活化吸收,因此翻压后的豆科作物残体腐解产生的有机酸性物质活化或提高了表层土壤中有效养分含量或供应能力^[17];同时,绿肥翻压改善了土壤理化性状,利于土

表 4 与豆科绿肥轮作对小麦籽粒微量元素含量和养分携出量的影响

Table 4 The effect of legume-wheat rotation on content and absorbed amount of micro elements of wheat grains

轮作方式 Rotation type	施氮量 N level (N kg /hm ²)	小麦籽粒 Fe 含量 Fe content of wheat grains (mg/kg)	小麦籽粒 Fe 携出量 Fe ⁻ absorbed amount (g/hm ²)	小麦籽粒 Mn 含量 Mn content of wheat grains (mg/kg)	小麦籽粒 Mn 携出量 Mn ⁻ absorbed amount (g/hm ²)	小麦籽粒 Cu 含量 Cu content of wheat grains (mg/kg)	小麦籽粒 Cu 携出量 Cu ⁻ absorbed amount (g/hm ²)	小麦籽粒 Zn 含量 Zn content of wheat grains (mg/kg)	小麦籽粒 Zn 携出量 Zn ⁻ absorbed amount (g/hm ²)	小麦籽粒 Al 含量 Al content of wheat grains (mg/kg)	小麦籽粒 Al 携出量 Al ⁻ absorbed amount (g/hm ²)
休闲— 小麦 Fallow— wheat	0	43aA	249bA	49aA	286aA	4.9aA	28bA	14aC	79bBC	4.3aB	25bA
	108	43aA	293aA	47abA	287aA	5.2aA	31aA	14aB	89aAB	5.4aA	43aA
	135	47aA	243bA	46bcBC	267bA	5.0aA	29abAB	14aC	79bB	6.8aA	30abA
	162	44aB	276abA	44cB	276abA	5.0aB	31aA	14aC	88abB	5.0aB	31abA
	平均 Average	44A	265A	47AB	279A	5.0B	30A	14C	84B	5.4B	32A
绿豆— 小麦 Mungbean— wheat	0	44aA	176aC	48aA	196bC	4.9aA	20bC	21aA	88aAB	7.7aA	31abA
	108	45aA	191aC	47aA	220aD	5.0aA	23aC	18bA	78bC	7.6abA	22bB
	135	42aA	205aB	48aAB	216aC	5.0aA	23aC	17bAB	82abB	4.7bA	35abA
	162	47aB	205aB	46aAB	200bC	5.1aB	22abC	17bAB	76bC	8.6aA	37aA
	平均 Average	45A	194C	47A	208C	5.0B	22D	18A	81B	7.2A	31A
大豆— 小麦 Soybean— wheat	0	42bA	212bB	49aA	244aB	5.0aA	25bB	15aBC	77aC	5.1aAB	26aA
	108	43bA	233bB	46bAB	252aB	5.0aA	27abB	15aB	80aBC	5.2aA	30aAB
	135	45bA	231bAB	48aA	245aB	5.1aA	27abB	15aBC	78aB	5.7aA	28aA
	162	55aA	299aA	45bAB	245aB	5.1aB	28aB	16aBC	85aB	6.0aB	28aA
	平均 Average	46A	244B	47AB	247B	5.1AB	27C	15B	80B	5.5B	28A
秋豆— 小麦 Qinbean— wheat	0	42aA	220aAB	48aA	250abB	4.8bA	25cB	17aB	89bA	5.1aAB	27aA
	108	44aA	233aB	44cB	239bC	5.2bA	28bcB	17aA	95abA	5.6aA	31aAB
	135	44aA	251aA	45acC	253aB	5.2bA	30abA	18aA	97abA	5.9aA	32aA
	162	43aB	230aB	47abA	252bB	5.8aA	31aA	19aA	100aA	4.4aB	24aA
	平均 Average	43A	234B	46B	248B	5.3A	29B	18A	95A	5.3B	29A

壤水稳团粒结构的形成^[18],促进小麦根系生长发育,从而增加了后茬小麦对土壤养分的吸收。本研究中,绿豆、大豆和秋豆单株根瘤数分别为 0.1,9.3 和 22.4 个,秋豆翻压还田氮素量为 64.5 kg/hm²,而大豆和绿豆仅为 33.3 和 17.2 kg/hm²(资料另文引用),还入土壤的氮素较多,可能是种植秋豆后小麦籽粒氮含量增加的一个重要原因。当地绿肥品种秋豆在当地生长旺盛,根系分泌或翻压还田后腐解产生的较多有机酸性物质使土壤 pH 下降,从而使被黏土矿物吸附的锌解吸,或不溶态氢氧化锌转化释放 Zn²⁺,显著提高了小麦籽粒锌含量和携出量。已有研究证实,小麦与豆科绿肥间作^[15],显著增加了小麦对磷素的吸收,我们的结果也表明,小麦与豆科绿肥轮作,小麦籽粒磷含量从 2.7 g/kg 增加到 3.0~3.3 g/kg,其原因应与锌相似。铝在植物中以豆科作物含量最高,禾谷类作物次之^[19]。目前在豆科

作物中发现了与铝吸收密切相关的植物根边缘细胞^[20,21],但是不同豆科作物品种根边缘细胞的差异对铝吸收的影响,目前尚无深入研究。在黄土高原旱地,夏闲期与豆科绿肥轮作后,小麦籽粒的养分携出量降低趋势较明显,小麦籽粒产量的降低,是导致小麦籽粒养分携出量显著降低的直接和根本原因,同时,也是小麦籽粒养分含量增加的可能原因。

长期施用大量元素肥料可以提高作物对一些营养元素的吸收^[22]。研究证明在作物微量元素积累过程中起重要作用的酶和螯合物均受土壤和作物体内有效氮水平的影响^[23]。随着施氮量增加,土壤酸化程度加重,矿质元素的有效性也会增强^[24]。Sylvie 研究表明^[25],单施氮肥增加了红粒小麦籽粒蛋白质、磷、钙、锌、锰和铁含量。李峰等^[26]、姜丽娜等^[24]的试验表明,施用氮肥改善了小麦籽粒锌和铜含量,降低了对小麦铁的吸收,锰不受影响或降低。

本文研究表明,随氮肥用量增加,小麦籽粒氮含量表现出增加趋势,与秋豆轮作后,这一趋势更加明显。小麦籽粒的硫、钙含量随着施氮量增加表现出增加趋势,磷、镁含量却呈现降低趋势,钾含量增减趋势不明显。微量营养元素中,锌、铝含量不受施氮量影响,铁、铜含量随施氮量的增加有升高的趋势;锰含量表现出降低趋势。同时,小麦籽粒养分携出量随氮肥的施入增加亦表现出一定的规律。小麦籽粒氮、硫、钙、铜的养分携出量随施氮水平的增加而显著增加;铁、锰、锌、铝的携出量随施氮量的增加均表现出增加的趋势;磷的携出量有降低的趋势;钾、镁的携出量随施氮量变化不明显。施用氮肥对小麦籽粒营养元素含量影响因不同地区、不同氮肥用量、不同作物和品种结论不一,原因何在还应深入研究。

目前,通过转基因技术等生物强化措施提高作物养分含量仍然存在争议,施肥虽然可以暂时缓解土壤和作物的缺素问题,但由于一些微量营养元素,同时也是重金属元素,因此存在一定风险。充分发挥豆科绿肥对土壤的影响和后茬效应,改善传统农艺措施,提高土壤中元素的有效利用率,调动对人体有益元素更多参与生物循环,是缺素地区克服小麦营养元素缺乏问题的重要措施。

参考文献:

- [1] Stein A J. Global impacts of human mineral malnutrition[J]. *Plant Soil*, 2010, 335: 133—154.
- [2] Cakmak I. Enrichment of fertilizers with zinc: An excellent investment for humanity and crop production in India[J]. *Trace Elements in Medicine and Biology*, 2009, 23: 281—289.
- [3] Cakmak I. Plant nutrition research: Priorities to meet human needs for food in sustainable ways[J]. *Plant Soil*, 2002, 247: 3—24.
- [4] FAO. The state of food insecurity in the world 2009. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome Also available via <http://www.fao.org/publications/sofi/en/>.
- [5] Huang M B, Shao M A, Lu Z, et al. Water use efficiency and sustainability of different long-term crop rotation systems in the Loess Plateau of China[J]. *Soil & Tillage Research*, 2003, 72: 95—104.
- [6] Salado-Navarro L R, Sinclair T R. Crop rotations in Argentina: Analysis of water balance and yield using crop models[J]. *Agricultural Systems*, 2009, 102: 11—16.
- [7] 郑元红,潘国元,毛国军,等.不同绿肥间套作方式对培肥地力的影响[J]. *贵州农业科学*, 2009, 37(1): 79—81.
- [8] 周春来.豆科作物轮作的培肥增产效果研究[J]. *西南农业学报*, 1991, 4(1): 91—97.
- [9] 朱 军,石书兵,马 林,等.不同时期套种绿肥对免耕春小麦光合生理特性及产量的影响[J]. *新疆农业科学*, 2008, 45(6): 990—995.

- [10] 田 飞,苟正贵,陈 颖,等.小麦—绿肥—玉米—大豆配套多熟种植模式的增产效应[J]. *贵州农业科学*, 2008, 36(6): 29—31.
- [11] Galantini M R, Landriscini J O, Iglesias A M, et al. The effects of crop rotation and fertilization on wheat productivity in the Pampean semiarid region of Argentina. 2. Nutrient balance, yield and grain quality[J]. *Soil & Tillage Research*, 2000, 53: 137—144.
- [12] 樊虎玲,郝明德,李志西.黄土高原旱地小麦—苜蓿轮作对小麦品质和子粒氨基酸含量的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2007, 13(2): 262—266.
- [13] 邹春琴,张福锁.中国农业生产中的微量元素[C]//邹春琴,张福锁.中国土壤—作物中微量元素研究现状和展望.北京:中国农业大学出版社,2009:1—10.
- [14] Baligar V C, Fageria N K, He Z L. Nutrient use efficiency in plants[J]. *Commun Soil Sci Plant Anal*, 2001, 32: 921—950.
- [15] Gunes A, Inal A, Adak M S, et al. Mineral nutrition of wheat, chickpea and lentil as affected by mixed cropping and soil moisture[J]. *Nutr Cycl Agroecosyst*, 2007, 78: 83—96.
- [16] Zhang T Q, Drury C F, Tan C S, et al. Effects of long-term (47 years) consistent fertilization and crop rotation on feed and diet productivity and quality[C]//Zhu Y G, Lepp N, Naidu R. Biogeochemistry of Trace Elements; Environmental Protection, Remediation and Human Health. Beijing: Tsinghua University Press, 2007: 297—299.
- [17] 王正周.豆科作物的生态作用[J]. *研究与探索*, 1993, 20(2): 28—30.
- [18] 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(S): 42—43.
- [19] 李权超.铝元素的生物学作用研究进展[J]. *中华临床医学研究杂志*, 2007, 13(15): 2242—2243.
- [20] 喻 敏,崔志新,温海祥,等.根际新发现的一类活细胞群——根边缘细胞[J]. *华中农业大学学报*, 2004, 23(2): 275—280.
- [21] 李荣峰,蔡妙珍,刘 鹏,等.大豆(*Glycine max* L.)边缘细胞对铝毒的生理生态响应[J]. *生态学报*, 2007, 27(10): 4182—4190.
- [22] Liu Z H, Wang H Y, Wang X E, et al. Genotypic and spike positional difference in grain phytase activity, phytate, inorganic phosphorus, iron, and zinc contents in wheat[J]. *Journal of Cereal Science*, 2006, 44: 212—219.
- [23] Shi R L, Zhang Y Q, Chen X P, et al. Influence of long-term nitrogen fertilization on micronutrient density in grain of winter wheat (*Triticum aestivum* L.)[J]. *Journal of Cereal Science*, 2010, 51: 165—170.
- [24] 姜丽娜,郑冬云,蒿宝珍,等.氮肥对小麦不同品种籽粒微量元素含量的影响[J]. *西北农业学报*, 2009, 18(6): 97—102.
- [25] Syltje P W, Dahnke W C. Mineral and protein content, test weight, and yield variations of hard red spring wheat grain as influenced by fertilization and cultivar[J]. *Plant Foods for Human Nutrition*, 2005, 32(10): 37—49.
- [26] 李 峰,田霄鸿,陈 玲,等.栽培模式、施氮量和播种密度对小麦籽粒中Zn、Fe、Mn、Cu含量和携出量的影响[J]. *土壤肥料*, 2006, (2): 42—46.

(英文摘要下转第 123 页)

Effect of macroelement deficiency on wheat yield and grain nutrient content in the dryland of the Loess Plateau

XUE Jia, MAO Hui, WANG Zhao-hui, ZHAO Hu-bing, ZAN Ya-ling, LI Xiao-han
(College of Resources and Environment, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: It is of great significance to study the effect of N, P and K on the nutrient contents in wheat grain and yield of winter wheat in the Loess Plateau. So pot trials was carried out in Northwest A&F University to study the effects of N, P and K deficiency on biomass, yield, ³ yield components and mineral element content in grain of winter wheat grown in soils with high, middle and low fertility soils which were collected from Changwu County, Shaanxi Province. The obtained results showed that N deficiency decreased significantly spike number and grain number per spike, and therefore decreased the biomass and grain yield. Further more, content S, Ca, Fe, Mn, Cu and Zn in wheat grain were also deceased due to N deficiency. Deficiency of phosphorus decreased biomass, tillers and 1000—grain weight as well as Mg content in grain. Deficiency of potassium showed no significant effects on yield and nutrient content in the grain of winter wheat. Negative effects of N deficiency were the most serious, and then was P, while the last one was K.

Keywords: the Loess Plateau; dryland; wheat; yield; nutrient content

(上接第 116 页)

Effect of rotation with legumes and N fertilization on yield and grain nutrient contents of wheat in dryland of the Loess Plateau

LI Ke-yi¹, WANG Zhao-hui¹, ZHAO Hu-bin¹, ZHAO Na¹, GAO Ya-jun¹, Graham Lyons²
(1. College of Resources and Environment, Northwest A & F University, Yangling 712100, China;
2. Waite Analytical Services School of Agriculture, Food and Wine University of Adelaide, South Australia 5064)

Abstract: It is of profound importance to study effects of rotation with legumes and N input levels on yield and grains nutrient contents of wheat in dryland of the Loess Plateau, where people are in trouble of malnutrition and soils are condemned to be deficient in available nutritional elements. A field experiment was carried out to study the effects of rotation with legumes on wheat yield and nutrient contents of wheat grains with four rotation types (fallow-wheat, mung bean-wheat, soybean-wheat, and qiubean (local bean)-wheat) at four N input levels of 0, 108, 135 and 162 kg/hm² on dryland of the Loess Plateau. Obtained results showed that wheat yield was significantly decreased by 9.7%~26.6% due to water deficiency after rotation with legumes. By comparison with fallow treatment, the amount of nutrients-absorbed of wheat grains decreased significantly or slightly. Specifically, the decreased amount of nutrients-absorbed of wheat grains was from 10.5% to 29.3% after rotation with mungbean, which decreased the most of three rotation types, and the second was rotation with soybean, the decreased amount of nutrients-absorbed was from 3.1% to 12.8%, whereas after rotation with qiubean (local bean), the decrease was merely from 0.98% to 11.7%, which was the least among three rotation types. However, by rotation with legumes, the average contents of Zn, P, K, Ca and Mg of wheat grains were increased by 22.0%, 18.5%, 8.8%, 7.9% and 7.8%, respectively. Among three N input levels, 108 kg N/hm² (80% of local routine N rates) showed higher wheat yields. With the increasing of N input, the contents and the amount of absorbed N, S, Ca, Fe, Cu and Zn of wheat grains tended to be increased, on the contrary, P contents and P-absorbed amount were decreased, and Mn contents decreased but Mn-absorbed amount was increased, whereas K and Mg were not significantly influenced.

Keywords: rotation; legume green manure; wheat; yield; nutritional element; nutrients-absorbed amount