

河西灌区绿肥对春小麦化学氮肥的替代及增产潜力初探

张松茂, 胡发龙, 殷文, 樊志龙, 柴强*

(甘肃省干旱生境作物学重点实验室 / 甘肃农业大学农学院, 甘肃 兰州 730070)

摘要: 针对河西灌区春小麦连作普遍、对化肥依赖过高等问题, 探讨麦后复种绿肥对下茬小麦的影响, 以期在试区建立基于复种绿肥的化肥减量小麦生产技术提供理论依据。2018 ~ 2019年, 在河西绿洲灌区设置田间试验, 研究了4种绿肥翻压量(0、15000、30000、45000 kg/hm²)、2个施氮水平(0、180 kg/hm²)下的小麦干物质累积及产量构成、绿肥替代化肥的短期潜力。结果表明, 种植翻压绿肥第一年, 绿肥还田15000、30000和45000 kg/hm²可分别替代化学氮肥11.3%、18.5%和36.5%。施氮180 kg/hm²配合30000 kg/hm²绿肥还田、不施氮配合45000 kg/hm²绿肥还田2个处理的籽粒产量差异不显著, 分别较施氮不复种绿肥增产18.4%和15.7%, 收获指数分别增加13.0%和12.6%, 穗数分别增加13.8%和14.1%, 穗粒数分别增加26.8%和15.9%。施氮180 kg/hm²配合30000 kg/hm²绿肥还田的干物质累积量和累积速率明显高于其他处理。通径分析表明, 绿肥化肥配施主要通过提高有效穗数, 进一步提高穗粒数和千粒重, 从而提高产量, 说明施氮180 kg/hm²配合绿肥还田30000 kg/hm²处理通过优化小麦有效穗数、穗粒数和千粒重对产量产生了调控作用。综上所述, 施氮180 kg/hm²配合绿肥还田30000 kg/hm²是河西灌区小麦增产的可行措施。

关键词: 绿洲灌区; 绿肥还田量; 小麦; 干物质积累; 产量构成

化肥是农业生产的重要要素^[1], 对促进作物产量提高, 解决人类温饱问题发挥了不可替代的作用^[2-3]。近年来, 不合理的施用化肥导致了土壤退化、地下水污染、温室气体排放及病虫害增加等诸多问题, 已严重影响到农业生产的持续性^[4], 以化肥减量为目标的施肥技术研究亟待加强。研究表明, 氮肥施用超过一定用量, 对作物产量的增产效果减弱, 甚至出现减产的趋势^[5]。因此, 在不增加化肥用量的前提下, 如何挖掘化肥增产潜力是目前农业生产中面临的主要问题。

小麦是我国第三大粮食作物, 在各种营养元素中对氮素需求量最大, 氮肥管理决定小麦产量的高低^[6]。研究表明, 采用有机配合无机的施肥方法是降低小麦氮肥施用量可行有效的途径^[7-8]。绿肥是一种养分全面的优质有机肥源, 在我国种植制度中是理想的轮作倒茬作物, 同时也是替代化肥、培肥土壤、增强生产系统稳定性的潜力作物^[9]。大量研究表明, 施用绿肥不仅显著增加了

土壤有机质含量, 还可减少速效养分尤其是氮素的损失, 可为后茬作物提供一定氮源, 从而保证后茬作物的产量^[10-12]。稻田绿肥紫云英翻压后, 减少20% ~ 40%的氮肥施用量, 不会降低稻谷和稻草产量, 说明绿肥紫云英替代化肥具有可行性^[13]。受主栽作物需肥特性、绿肥供肥能力及产量目标等多要素的影响, 厘清绿肥作物替代化肥阈值的潜力, 是构建绿肥配施化肥作物高效养分管理制度的重要基础。已有学者在氮肥管理对小麦产量、品质、氮肥利用率及土壤健康方面做了大量研究, 但对高产目标下绿肥替代化学氮肥、绿肥与化肥配施的增产潜力研究相对较少, 使得生产实践中缺乏绿肥与化肥相结合的小麦养分高效管理理论和技术。为此, 本研究在河西灌区设置大田试验, 在不同绿肥还田量下设置不施氮和施氮处理, 探讨绿肥替代化肥生产小麦的短期潜力, 以期在试区建立基于绿肥与化肥配施的小麦绿色生产模式提供理论依据和技术支持。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验在甘肃农业大学绿洲农业科研教学基地进行, 地处河西走廊东端的武威市凉州区黄羊镇, 为

收稿日期: 2020-01-04; 录用日期: 2020-03-28

基金项目: 国家绿肥产业技术体系(CARS-22)。

作者简介: 张松茂(1996-), 男, 甘肃甘谷人, 在读硕士, 主要从事多熟种植研究。E-mail: zsm1327533010@163.com。

通讯作者: 柴强, E-mail: Chaiq@gsau.edu.cn。

典型的大陆性荒漠气候区, 年均降水量 150 mm、蒸发量约 2400 mm, 年均日照时数 > 2945 h、年均温 7.2℃。试验地 0 ~ 30 cm 基础土壤全氮 0.68 g/kg、有机质 14.31 g/kg。小麦是该试区的主栽作物, 且多以连作方式生产, 麦后可进行短期复种。化肥是主要肥源, 有机肥用量小。小麦于 2019 年 4 月 21 日基本全出苗, 在其播种后 30 d (苗期) 第一次取样, 之后分别于分蘖期 (5 月 12 日, 出苗后 45 d)、拔节期 (5 月 27 日, 出苗后 60 d)、孕穗期 (6 月 13 日, 出苗后 75 d)、灌浆期 (6 月 28 日, 出苗后 90 d) 取样。

1.2 试验设计

试验采用随机区组设计, 设施氮和绿肥翻压量 2 个因素。施氮设 2 个水平, 即 0 (N_0) 和 180 kg/hm² (N_1); 绿肥翻压量设 4 个水平, 即 0 (G_0)、15000 kg/hm² (G_1)、30000 kg/hm² (G_2)、45000 kg/hm² (G_3), 共 8 个处理, 每个处理重复 3 次, 总计 24 个小区, 小区面积 44.24 m² (7.9 m × 5.6 m)。小麦生育期施 P₂O₅ 113 kg/hm², 全作基肥。2018 年为预备试验, 在小麦收后于 7 月 28 日复种毛叶苕子, 播种量 25 kg/hm², 10 月 20 日翻压还田, 设置不同的绿肥还田量, 2019 年 3 月 12 日进行小麦传统条播, 播种量 675 万粒/hm², 于 7 月 20 日收获。参试小麦 (*Triticum aestivum* L.) 品种为宁春 4 号, 绿肥采用毛叶苕子 (*Vicia villosa* Roth), 品种为土库曼苕子。

1.3 测定指标及计算方法

干物质: 自小麦出苗 20 d 开始, 每隔 15 d 随机取 20 株, 在 105℃ 烘箱内杀青 30 min, 然后调至 85℃ 烘至恒重, 计量。

干物质累积速率 (CGR) = $(W_2 - W_1) / (T_2 - T_1)$

式中, T_2 和 T_1 为相邻测定时期, W_2 和 W_1 分别为 T_2 和 T_1 时期的干重 (kg/hm²)。

产量: 以小区为单位, 单打单收, 自然风干后测定其籽粒产量 (GY) 与生物产量 (BY)。

收获指数 (HI) = GY/BY

产量构成: 按小区单独收获记产 (除去取样植株所占面积), 随机选取小麦 20 株, 测定单位面积穗数、穗粒数。用 PM-8188 型谷物水分测定仪测定籽粒含水率, 重复 5 次, 取其平均值。另外, 计算 14% 含水量下的千粒重。

氮肥替代潜力 (NSP) 用不同处理的籽粒产量计算, 公式如下:

$NSP = (N_0G_i - N_0G_0) / N_1G_0 \times 100\%$, 式中 N_0 为不施氮, G_0 为绿肥不还田, N_1 为施氮 180 kg/hm², G_i 为不同绿肥还田量, $i = 1 \sim 3$ 。

1.4 数据统计分析

使用 Excel 2013 进行数据处理, 利用 SPSS 17.0 统计分析软件进行显著性检验 (Duncan's multiple range tests)、相关性及途径分析。

2 结果与分析

2.1 施氮配合不同绿肥还田量下小麦干物质累积特征

小麦全生育期干物质累积如表 1, 绿肥还田利于小麦干物质累积, 与无绿肥还田相比, 拔节期 (5 月 27 日, 出苗后 60 d) 前, N_1G_2 、 N_1G_3 小麦干物质较 N_1 处理分别提高 20.0%、27.7%, 且差异显著; N_0G_2 、 N_0G_3 较 N_0 处理分别提高 22.0%、29.3%, 且差异显著。拔节期至孕穗期 (5 月 27 日 ~ 6 月 13 日, 出苗后 60 ~ 75 d), N_0G_2 、 N_0G_3 小麦干物质较 N_0 处理分别提高 8.4%、14.6%, N_1G_2 、 N_1G_3 干物质较 N_1 处理分别提高 10.0%、7.0%。灌浆期至成熟期 (6 月 28 日 ~ 7 月 19 日, 出苗后 90 ~ 105 d), N_0G_1 、 N_0G_2 、 N_0G_3 较 N_0 处理分别提高 10.2%、11.0%、16.1%, 施氮处理间 N_1G_2 较 N_1 处理提高 5.0%。

同一绿肥还田量下, 拔节期 (5 月 27 日, 出苗后 60 d) 前, N_1G_1 、 N_1G_2 、 N_1G_3 小麦干物质较 N_0G_1 、 N_0G_2 、 N_0G_3 处理分别提高 22.0%、16.9%、18.2%, 且差异显著。拔节期至孕穗期 (5 月 27 日 ~ 6 月 13 日, 出苗后 60 ~ 75 d), N_1G_2 较 N_0G_2 处理提高 8.4%。灌浆期至成熟期 (6 月 28 日 ~ 7 月 19 日, 出苗后 90 ~ 105 d), N_0G_3 较 N_1G_3 处理提高 6.5%。以上结果说明, 不施氮降低了小麦干物质累积量, 而绿肥还田能弱化这种降低, 说明绿肥有替代化肥的潜力。

表 1 施氮配合不同绿肥还田量下小麦干物质

处理	累积特征 (kg/hm ²)					
	出苗后天数 (d)					
	30	45	60	75	90	105
N_0G_1	416	2183	4095	14760	16290	18195
N_0G_2	394	2273	4793	15075	16065	18338
N_0G_3	484	2745	5063	15930	17685	19170
N_0	326	1958	3915	13905	15300	16515
N_1G_1	439	2565	4995	15480	16920	18630
N_1G_2	450	2880	5985	15885	17325	19530
N_1G_3	360	3015	5603	16335	17235	18810
N_1	371	2295	4687	15300	15735	18383

2.2 施氮配合不同绿肥还田量下小麦干物质累积速率动态

如表 2 表示, 与无绿肥还田相比, 拔节期 (5 月 27 日, 出苗后 60 d) 前, N_1G_2 、 N_1G_3 小麦干物质累积速率较 N_1 处理分别提高 13.8%、24.2%; N_0G_2 、 N_0G_3 较 N_0 处理分别提高 28.7%、18.4%, 且差异显著。拔节期至孕穗期 (5 月 27 日 ~ 6 月 13 日, 出苗后 60 ~ 75 d), 小麦干物质累积速率迅速增长, 至孕穗期达到最大, 此时 N_0G_1 、 N_0G_3 干物质累积速率较 N_0 处理分别提高 7.0% 和 8.8%。孕穗期至灌浆期 (6 月 13 日 ~ 6 月 28 日, 出苗后 75 ~ 90 d), 小麦干物质累积速率迅速下降, N_1G_1 、 N_1G_2 、 N_1G_3 较 N_1 分别降低 5.9%、35.0%、11.8%; N_0G_2 较 N_0 处理降低 29.0%, 但 N_0G_1 、 N_0G_3 较 N_0 处理分别提高 9.7%、25.8%。灌浆期至成熟期 (6 月 28 日 ~ 7 月 19 日, 出苗后 90 ~ 105 d), 干物质累积速率逐渐稳定, N_1G_3 较 N_1 处理降低 10.2%, N_1G_1 、 N_1G_2 较 N_1 处理分别提高 21.7% 和 42.0%, N_0G_1 、 N_0G_2 、 N_0G_3 较 N_0 处理分别提高 56.8%、87.0%、22.2%。

表 2 施氮配合不同还田量下小麦干物质累

处理	积速率动态 [kg/(hm ² ·d)]				
	出苗后天数 (d)				
	45	60	75	90	105
N_0G_1	117.8	127.5	711.0	162.0	67.5
N_0G_2	125.3	168.0	685.5	126.0	91.5
N_0G_3	165.8	172.5	694.5	147.0	69.0
N_0	108.8	130.5	666.0	93.0	81.0
N_1G_1	143.3	162.0	699.0	156.0	66.0
N_1G_2	166.5	177.0	715.5	126.0	72.0
N_1G_3	162.0	213.0	660.0	90.0	93.0
N_1	128.3	159.5	677.6	132.0	103.5

同一还田量下, 拔节期 (5 月 27 日, 出苗后 60 d) 前, N_1G_1 、 N_1G_2 、 N_1G_3 小麦干物质累积速率较 N_0G_1 、 N_0G_2 、 N_0G_3 处理分别提高 27.1%、8.0%、28.1%。拔节期至孕穗期 (5 月 27 日 ~ 6 月 13 日, 出苗后 60 ~ 75 d), N_1G_2 较 N_0G_2 提高 4.0%, N_1G_3 较 N_0G_3 降低 8.9%。孕穗期至灌浆期 (6 月 13 日 ~ 6 月 28 日, 出苗后 75 ~ 90 d), N_1G_1 、 N_1G_3 较 N_0G_1 、 N_0G_3 分别降低 5.9%、23.0%。灌浆期至成熟期 (6 月 28 日 ~ 7 月 19 日, 出苗后 90 ~ 105 d), N_1G_3 较 N_0G_3 降低 6.1%。就整个生育期来看, 施氮配合绿肥还田 30000 kg/hm² 处理以及不施氮配合绿肥还田 45000 kg/hm² 处理能够明显加快小麦的干物质累积速

率, 提高干物质积累量, 为小麦高产奠定基础。

2.3 施氮配合不同还田量对小麦籽粒产量、生物产量和收获指数的影响

施氮对籽粒产量、收获指数影响显著, 绿肥还田量对籽粒产量、生物产量、收获指数影响显著, 施氮及绿肥还田量对小麦籽粒产量存在显著的互作效应。施肥结合不同绿肥还田量显著增加了小麦籽粒产量 (表 3)。同一施氮水平下, N_1G_2 较 N_1G_1 、 N_1G_3 、 N_1 籽粒产量分别提高 15.9%、8.2%、18.4%, 说明绿肥还田具有一定的增产潜力; 不施氮处理下, N_0G_3 较 N_0G_1 、 N_0G_2 、 N_0 籽粒产量分别提高 27.8%、18.4%、46.0%。同一绿肥还田量下, N_1G_1 、 N_1G_2 、 N_0G_3 较 N_0G_1 、 N_0G_2 、 N_1G_3 处理分别提高 12.8%、21.1%、5.7%。由氮肥替代潜力计算公式得出, N_0G_1 、 N_0G_2 、 N_0G_3 处理的绿肥替代化肥比例分别为 11.3%、18.5%、36.5%, 说明不施氮处理下, 绿肥还田量越多, 替代效果越明显。

施氮结合不同绿肥还田量增加了小麦生物产量。同一施氮水平下, N_1G_2 较 N_1G_1 、 N_1G_3 、 N_1 生物产量分别提高 3.8%、5.6%、4.8%; 不施氮处理下, N_0G_3 较 N_0G_1 、 N_0G_2 、 N_0 生物产量分别提高 4.3%、4.5%、16.1%; 同一绿肥还田量下, N_1G_2 、 N_0G_3 较 N_0G_2 、 N_1G_3 处理生物产量分别提高 6.5%、3.7%。进一步比较不同处理小麦收获指数发现, 同一施氮水平下, N_1G_2 较 N_1G_1 、 N_1 分别提高 11.8%、13.0%; 不施氮处理下, N_0G_3 较 N_0G_1 、 N_0G_2 、 N_0 分别提高 22.8%、13.3%、25.9%; 同一绿肥还田量下, N_1G_1 、 N_1G_2 较 N_0G_1 、 N_0G_2 分别提高 10.2%、13.7%。 N_0G_3 与 N_1G_2 、 N_1G_3 处理差异不显著, 说明绿肥还田能促进光合产物向籽粒的转移。

2.4 施氮配合不同绿肥还田量对小麦产量构成因素的影响

由表 4 所示, 施氮及绿肥还田对小麦有效穗数、穗粒数影响均显著, 施氮及绿肥还田两因素间的互作效应对小麦穗粒数影响显著, 对有效穗数和千粒重无显著影响。同一施氮水平下, 绿肥还田 30000 kg/hm² 较还田 15000 kg/hm² 的穗数、穗粒数、千粒重分别提高 13.8%、18.7%、5.3%; 较还田 45000 kg/hm² 的穗数、穗粒数、千粒重分别提高 4.8%、14.2%、4.9%; 较不还田的穗数、穗粒数、千粒重分别提高 17.3%、26.8%、5.9%。

不施氮处理下, 绿肥还田 45000 kg/hm² 较还田 15000 kg/hm² 的穗数、穗粒数、千粒重分别提高

表 3 不同施氮量及绿肥还田量下小麦的产量

处理	籽粒产量 (kg/hm ²)	生物产量 (kg/hm ²)	收获指数	替代比例 (%)
N ₀ G ₁	6427 ± 21d	18383 ± 449a	0.350 ± 0.008cd	11.30
N ₀ G ₂	6941 ± 11c	18338 ± 744a	0.379 ± 0.015bc	18.50
N ₀ G ₃	8215 ± 253ab	19170 ± 430a	0.429 ± 0.028a	36.50
N ₀	5625 ± 108e	16515 ± 339b	0.341 ± 0.015d	
N ₁ G ₁	7252 ± 78c	18810 ± 206a	0.386 ± 0.008b	
N ₁ G ₂	8406 ± 529a	19530 ± 679a	0.431 ± 0.035a	
N ₁ G ₃	7771 ± 441b	18495 ± 422a	0.420 ± 0.015a	
N ₁	7100 ± 202c	18630 ± 665a	0.381 ± 0.010bc	
施氮量 (N)	**	NS	**	
绿肥还田量 (G)	**	*	**	
N × G	**	NS	NS	

注: 表中数据为平均值 ± 标准差。NS、* 和 ** 分别表示无显著差异、在 0.05 和 0.01 水平上差异显著。同一列数字后的不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著。下同。

23.1%、20.6%、3.5%; 较还田 30000 kg/hm² 的穗数、穗粒数分别提高 15.9%、19.6%; 较不还田的穗数、穗粒数、千粒重分别提高 28.0%、34.2%、5.8%。

同一绿肥还田量下, N₁G₁ 较 N₀G₁ 的穗数、穗粒数分别提高 11.2%、11.3%; N₁G₂ 较 N₀G₂ 的穗数、穗粒数、千粒重分别提高 19.2%、30.9%、6.4%。由此可以看出, 绿肥还田通过增加小麦的穗数、穗粒数和千粒重来实现增产。N₁G₂ 处理下小麦的穗数、穗粒数和千粒重均最高, 说明施氮配合绿肥还田 30000 kg/hm² 时, 主要通过优化小麦穗数、穗粒数和千粒重等产量构成来调控产量。

表 4 不同处理下小麦的产量构成

处理	有效穗数 (× 10 ⁴ /hm ²)	穗粒数	千粒重 (g)
N ₀ G ₁	661 ± 36cd	26.7 ± 1.2e	47.5 ± 2.4b
N ₀ G ₂	702 ± 58bc	26.9 ± 0.9e	48.1 ± 1.0b
N ₀ G ₃	814 ± 10a	32.2 ± 1.7b	49.2 ± 0.3ab
N ₀	636 ± 10d	24.0 ± 1.7f	46.5 ± 1.6b
N ₁ G ₁	735 ± 19b	29.7 ± 1.0cd	48.6 ± 0.9ab
N ₁ G ₂	837 ± 25a	35.2 ± 1.0a	51.2 ± 1.7a
N ₁ G ₃	799 ± 65a	30.8 ± 1.7bc	48.8 ± 1.4ab
N ₁	714 ± 19bc	27.8 ± 1.2de	48.3 ± 1.4b
施氮量 (N)	**	**	NS
绿肥还田量 (G)	**	**	NS
施氮量 × 绿肥还田量 (N × G)	NS	**	NS

2.5 小麦产量与产量构成因素的通径分析

对所有处理的小麦产量构成因素与籽粒产量进行通径分析 (表 5), 可以客观评价各产量构成因

素对籽粒产量的相对重要性。由小麦籽粒产量与各产量构成因素直接通径系数大小可以看出, 对小麦籽粒产量的影响顺序依次为穗粒数 (0.614) > 穗数 (0.212) > 千粒重 (0.11), 表明对籽粒产量影响最大的是穗粒数, 其次为穗数, 千粒重影响最小。由小麦籽粒产量与各产量构成因素的间接通径系数大小可以看出, 穗数通过穗粒数表现出对产量的贡献率最大 (0.543), 穗粒数通过穗数表现出对产量的贡献率最大 (0.187), 千粒重通过穗粒数表现出对产量的贡献率最大 (0.405)。因此, 绿肥和化肥配施改变了小麦产量构成三要素, 对籽粒产量的影响主要以直接作用为主, 通过提高单位面积的有效穗数和穗粒数来提高产量。而通过提高千粒重来实现增产的效果并不明显, 主要是由于千粒重可能与作物的品种遗传基因有关, 变异程度相对较小。

表 5 各产量构成因素对籽粒产量的直接和间接效应

指标	简单相关系数	直接通径系数	间接通径系数		
			X ₁	X ₂	X ₃
X ₁	0.829	0.212	—	0.543	0.074
X ₂	0.874	0.614	0.187	—	0.072
X ₃	0.658	0.11	0.143	0.405	—

注: X₁, 有效穗数; X₂, 穗粒数; X₃, 千粒重。

通径分析结合产量构成进一步表明, 单施绿肥以及绿肥、化肥配施对穗粒数的影响作用最明显, 其次为穗数。其中单施绿肥处理下, 绿肥还田量越大, 小麦的穗粒数越大, 通过穗粒数影响进而提高小麦籽粒产量; 施氮配合绿肥还田 30000 kg/hm² 时, 小麦的穗数、穗粒数均为最大, 通过增加穗数进而影响穗粒数对籽粒产量的贡献率, 最终利于高产。

3 讨论

3.1 绿肥、化肥配施与作物干物质积累及产量的关系

干物质是产量形成的基础,其积累和分配决定着作物最终产量^[14]。随氮肥用量的增加,小麦干物质积累量增大^[15]。研究表明,间套作、水肥管理等农艺调控措施均能够增加作物干物质积累,进而获得高产^[16];适量增施氮肥能够提高小麦的干物质累积速率^[17]。绿肥、化肥配施,避免了前期无机肥供应过猛,中期在小麦需肥高峰阶段提供充足肥源,协调养分供应,促进小麦生长和叶部光合作用,使干物质积累量增加。在常规施肥基础上翻压绿肥小麦干物质积累量高于常规施肥,可能与绿肥翻压后释放养分或活化土壤养分,增加小麦对养分吸收有关。本研究表明,施氮配合绿肥还田 30000 kg/hm² 处理可保持较高的干物质积累速率,维持生育期内较长时间的干物质持续期,延缓生育后期干物质积累速率的降低,其主要原因在于施氮能够增加叶片中超氧化物歧化酶和过氧化氢酶的含量,延缓叶片中叶绿素含量的降低,改善作物生育期的光合特性^[18-19],延长生育后期叶片的光合作用持续期;绿肥还田能够增加土壤中氮含量,在小麦生育后期随着气温升高而快速释放,满足当季小麦的生长需要^[20],最终利于高产。本研究还发现,随着生育进程的推进,各处理下小麦的干物质积累量逐渐增加,成熟期达到稳定。绿肥还田 30000 kg/hm² 处理下成熟期群体干物质积累量最大,绿肥不还田时群体干物质积累量最小,这与姚鹏伟等^[21] 研究结果一致。

大量研究表明,适量施用氮肥能增加小麦的籽粒产量^[22]。此外,绿肥有一定的养分供应能力,能够促进作物生长,绿肥、化肥配施能促进养分吸收,提高作物产量^[23]。小麦生长后期,翻压的绿肥仍能释放较多的氮素,可以满足小麦对氮素的需求,加快小麦生长,促使花后吸收更多的氮磷养分,促进碳水化合物合成,进而形成较高的籽粒产量。本研究表明,施氮配合绿肥还田 30000 kg/hm² 处理下,小麦的籽粒产量显著高于其他处理。

3.2 绿肥替代氮肥研究

本研究中, N₀G₁、N₀G₂、N₀G₃ 处理的绿肥替代化肥比例分别为 11.3%、18.5%、36.5%,说明不施氮处理下,绿肥还田量越多,替代效果越明显。绿肥替代氮肥有利于提高小麦干物质积累量,进而提高有效穗数和结实率,最终利于小麦高产。这可能与绿肥中

有机氮释放较为缓慢,同时提高了土壤的有机质含量和改善了土壤团粒结构有关。对于小麦来说,产量构成因素之间的协调发展是实现其高产的基础。配施处理对作物产量的影响主要体现在对有效穗数、穗粒数以及千粒重的影响上。相关研究表明,绿肥、化肥配施可显著提高小麦的穗粒数和千粒重,利于高产^[24]。本研究发现,配施处理对小麦产量构成要素的影响基本表现一致,即通过提高单位面积的有效穗数、穗粒数和千粒重,从而提高籽粒产量。其中,绿肥还田 30000 kg/hm² 时小麦的穗数、穗粒数和千粒重均为最高,说明该处理下,主要通过优化小麦的穗数、穗粒数和千粒重等产量构成来调控产量。

4 结论

河西绿洲灌区毛叶苕子还田后种植小麦, 15000、30000、45000 kg/hm² 绿肥可分别替代化学氮肥 11.3%、18.5%、36.5%。施氮 180 kg/hm² 配合 30000 kg/hm² 绿肥还田的干物质积累量和累积速率明显高于其他处理,该处理与不施氮配合绿肥还田 45000 kg/hm² 处理的籽粒产量差异不显著,分别较施氮不复种绿肥增产 18.4% 和 15.7%。施氮配合绿肥高产主要归因于优化了小麦有效穗数、穗粒数。综合来看,绿肥还田 30000 kg/hm² 结合施氮 180 kg/hm² 可作为河西灌区小麦高产的养分短期管理模式。

参考文献:

- [1] 林源, 马骥. 农户粮食生产中化肥施用的经济水平测算—以华北平原小麦种植户为例 [J]. 农业技术经济, 2013 (1): 25-31.
- [2] Adviento-Borbe Maria A A, Bruce L. Assessing fertilizer N placement on CH₄ and N₂O emissions in irrigated rice systems [J]. Geoderma, 2016, 266: 40-45.
- [3] Qian C, Yu Y, Gong X, et al. Response of grain yield to plant density and nitrogen rate in spring maize hybrids released from 1970 to 2010 in Northeast China [J]. The Crop Journal, 2016, 4 (6): 459-467.
- [4] 姚春霞, 郭开秀, 赵志辉, 等. 减量施肥对三种蔬菜硝酸盐含量、营养品质和生理特性的影响 [J]. 水土保持学报, 2010, 24 (4): 153-156.
- [5] 淮贺举, 张海林, 蔡万涛. 不同施氮水平对春玉米氮素利用及土壤硝态氮残留的影响 [J]. 农业环境科学学报, 2009, 28 (12): 2651-2656.
- [6] 马东辉, 王月福, 周华, 等. 氮肥和花后土壤含水量对小麦干物质积累、运转及产量的影响 [J]. 麦类作物学报, 2007 (5): 847-851.
- [7] 张建国, 晋京串, 肖宁月. 山西旱地农业降水高效利用技术探讨 [J]. 山西农业科学, 2009, 36 (1): 52-54.

- [8] 袁新民, 同延安, 杨学云, 等. 有机肥对土壤 NO-N 累积的影响 [J]. 土壤与环境, 2000 (3): 197-200.
- [9] 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.
- [10] 杨曾平, 高菊生, 郑圣先, 等. 长期冬种绿肥对红壤性水稻土壤微生物特性及酶活性的影响 [J]. 土壤, 2011, 43 (4): 576-583.
- [11] 高高涓, 曹卫东, 白金顺, 等. 长期冬种绿肥改变红壤稻田土壤微生物生物量特性 [J]. 土壤学报, 2015, 52 (4): 902-910.
- [12] 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.
- [13] 黄晶, 高菊生, 刘淑军, 等. 冬种紫云英对水稻产量及其养分吸收的影响 [J]. 中国土壤与肥料, 2013 (1): 88-92.
- [14] Whisler F, Acock B, Baker D, et al. Crop simulation—models in agronomic systems [J]. *Advances in Agronomy*, 1986, 40 (1): 141-208.
- [15] 谢会雅, 朱列书, 赵松义. 不同施氮量对烤烟干物质积累的影响 [J]. 作物研究, 2007 (1): 24-27.
- [16] 吕丽华, 董志强, 张经廷, 等. 水氮对冬小麦-夏玉米产量及氮利用效应研究 [J]. 中国农业科学, 2014, 47 (19): 3839-3849.
- [17] 李国强, 汤亮, 张文宇, 等. 不同株型小麦干物质积累与分配对氮肥响应的动态分析 [J]. 作物学报, 2009, 35 (12): 2258-2265.
- [18] 张吉旺, 王空军, 胡昌浩, 等. 施氮时期对夏玉米饲用营养价值的影响 [J]. 中国农业科学, 2002, 35 (11): 1337-1342.
- [19] 王云奇, 陶洪斌, 张丽, 等. 施氮模式对夏玉米产量和籽粒灌浆的影响 [J]. 中国生态农业学报, 2012, 20 (12): 1594-1598.
- [20] 何刚, 王朝辉, 李富翠, 等. 地表覆盖对旱地小麦氮磷钾需求及生理效率的影响 [J]. 中国农业科学, 2016, 49 (9): 1657-1671.
- [21] 姚鹏伟, 张达斌, 王峥, 等. 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 [J]. 西北农林科技大学学报 (自然科学版), 2014, 42 (3): 111-117.
- [22] 王月福, 姜东, 于振文, 等. 氮素水平对小麦籽粒产量和蛋白质含量的影响及其生理基础 [J]. 中国农业科学, 2003 (5): 513-520.
- [23] 杨璐, 曹卫东, 白金顺, 等. 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 [J]. 华北农学报, 2014, 29 (1): 183-189.
- [24] 黄正来, 姚大年, 马传喜, 等. 氮素供应对不同类型小麦品种籽粒产量和品质性状的影响 [J]. 安徽农业大学学报, 1999 (4): 414-418.

Primary exploration of green manure on substitution of chemical N fertilizer and improvement of wheat yield in Hexi irrigation area

ZHANG Song-mao, HU Fa-long, YIN Wen, FAN Zhi-long, CHAI Qiang* (Gansu Provincial Key Laboratory of Arid Land Crop Science/Faculty of Agronomy, Gansu Agricultural University, Lanzhou Gansu 730070)

Abstract: Aiming at the problems of widespread continuous cropping of spring wheat, and excessive reliance on chemical fertilizers in the Hexi irrigation areas, a study was conducted to explore the potential of green manure which multiple cropped with previous wheat on substitution of chemical N fertilizer and improvement of grain yield of next wheat. Thus it can provide theoretical basis to establish a green manure multiple cropped with chemical fertilizer reduced wheat production system in the testing area. In 2018 ~ 2019, the field experiments were set up with four levels of green manure turnover (0, 15000, 30000 and 45000 kg/hm²) and two levels of nitrogen application (0, 180 kg/hm²) in the Hexi Oasis irrigation district, and the dry matter accumulation and yield composition of wheat were studied to reveal the short-term potential of green manure to replace chemical fertilizer. The results showed that in the first year of planting green manure, returning green manure to the field at 15000, 30000 and 45000 kg/hm² could replace chemical nitrogen fertilizers at 11.3%, 18.5% and 36.5%, respectively. The grain yields of the two treatments with 180 kg/hm² of nitrogen and 30000 kg/hm² of green manure returned to the field and 45000 kg/hm² of green fertilizer without nitrogen were not significantly different, which increased 18.4% and 15.7%, respectively, compared with the non-replanted green manure. The harvest index increased by 13.0% and 12.6%, the number of ears increased by 13.8% and 14.1%, and the number of ears increased by 26.8% and 15.9%, respectively. The dry matter accumulation and accumulation rate of 180 kg/hm² nitrogen combined with 30000 kg/hm² green manure returned to the field were significantly higher than those of other treatments. Path analysis showed that the combined application of green manure and chemical fertilizers mainly increased the number of effective spikes, and further increased the number of spikes per ear and thousand kernel weight, which increased yield. It indicated that the application of 180 kg/hm² of nitrogen combined with 30000 kg/hm² of green manure returned to the field had an effect on regulating yield by optimizing the effective ear number, the number of spikes per ear and thousand kernel weight of wheat. To sum up, applying 180 kg/hm² of nitrogen and 30000 kg/hm² of green manure to the field is a feasible measure for increasing wheat yield in Hexi irrigation area.

Key words: Oasis irrigation area; green manure retention amount; wheat; dry matter accumulation; yield components