

# 施肥和绿肥翻压方式对旱地冬小麦生长及土壤水分利用的影响

李婧<sup>1</sup>, 张达斌<sup>1</sup>, 王峰<sup>1</sup>, 姚鹏伟<sup>1</sup>, 赵娜<sup>1</sup>,  
曹群虎<sup>2</sup>, 鱼昌为<sup>2</sup>, 曹卫东<sup>3</sup>, 高亚军<sup>1\*</sup>

(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)

**摘要:**通过田间试验研究渭北旱原不同施肥处理(不施肥; 40 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/hm<sup>2</sup>; 豆科绿肥专用肥 30 kg/hm<sup>2</sup>)对夏闲期豆科绿肥生长和后茬小麦生长的效果, 探讨了夏季豆科绿肥翻压方式(提前翻压、提前覆盖、播前翻压和不种绿肥即夏季休闲)对后茬冬小麦产量及水分利用的影响。研究表明: 与不施肥处理相比, 豆科绿肥专用肥显著提高绿肥盛花期地上部生物量, 但对根系生长没有明显作用; 施用磷肥则更有利于绿肥根系生物量的提高; 施用绿肥专用肥和磷肥处理的后茬小麦产量较高, 特别是绿肥提前翻压时。绿肥提前翻压时冬小麦分蘖数较高、春季总茎数较高、单位面积穗数较高, 产量显著高于绿肥提前覆盖、播前翻压和不种绿肥处理, 水分生产效率显著高于不种绿肥处理。从绿肥翻压、小麦播前直至小麦拔节期, 绿肥翻压方式的3个处理土壤0~200 cm剖面水分含量与休闲处理始终有明显差异。提前翻压处理与提前覆盖、播前翻压处理的差异主要在40 cm以上土层。

**关键词:** 豆科绿肥; 绿肥翻压方式; 冬小麦; 土壤贮水量; 旱地

**中图分类号:** S512.1<sup>+</sup>1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2012)03-0136-07

国内外大量生产实践证明, 要实现农业生产的可持续发展, 就必须为作物的生长发育创造一个良好的土壤环境。而合理施肥, 尤其是合理施用有机肥, 是维持和提高地力的最有效方式, 也是实现农业可持续发展的根本保证。黄土高原地区农业种植制度以一年一熟为主, 主栽作物为小麦和玉米, 有种植绿肥的传统和条件。在冬小麦一年一熟种植区, 传统上的夏季休闲期正值雨热同季, 不仅由于缺乏植被覆盖而不利土壤水分保蓄, 而且光热资源白白浪费<sup>[1]</sup>。如果在夏季休闲期填闲种植短期豆科绿肥, 不仅对于夏闲期降水和光温资源的充分利用具有重要的意义, 而且可以显著提高土壤肥力, 减少化学氮肥施用。赵娜等<sup>[2]</sup>在渭北旱原的研究表明, 由于夏闲期间种植豆科绿肥, 消耗了较多的土壤水分, 影响了后季小麦的生长, 最终使小麦减产。那么, 如何解决这一问题? 同时有报道指出绿肥翻压的生物量太小, 翻压后起不到为作物提供养分和改良土壤的作用<sup>[3]</sup>。所以, 为了获得较高的绿肥生物量, 对豆科绿肥施肥也很重要。本研究通过田间试验对绿肥不同翻压利用方式、绿肥播前施肥种类对土壤水分的影响以及对后茬小麦生长的作用等问题做了深入

探讨, 以期旱地绿肥作物的合理种植与利用提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

试验地位于黄土高原中南部的陕西省长武县农技中心丁家镇十里铺试验基地(107°44' 703"E, 35°12'787"N), 海拔1 220 m, 属西北内陆暖温带半湿润大陆性季风气候, 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。

试验地土壤为黄盖粘黑垆土, 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%, 凋萎湿度9%。耕层土壤有机质、活性有机质全氮含量分别为13.4、4.26、0.90 g/kg, 矿质氮含量为13.74 mg/kg, pH为7.50, 全磷为0.66 g/kg, 速效磷、速效钾含量分别为4.02、131.95 mg/kg。试验区大部分耕层土壤贫氮少磷, 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,

收稿日期: 2012-01-24

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经费资助; 教育部“新世纪优秀人才支持计划”项目(NCET-08-0465); 西北农林科技大学“创新团队建设计划”; 西北农林科技大学2007“青年学术骨干支持计划”项目

作者简介: 李婧(1986—), 女, 河北保定人, 硕士生, 研究方向为农业环境保护与食品安全。E-mail: lijing.1025@163.com。

\* 通讯作者: 高亚军, E-mail: yajungao@nwsuaf.edu.cn。

且典型的种植制度为一年一熟或两年三熟。

1.2 试验设计

以夏季种植的长武杯豆(大豆的当地品种)为绿肥,研究因素包括:(1)绿肥播前肥料处理:CK 为不施肥;P 为  $P_2O_5$  40 kg/hm<sup>2</sup>;SF 为专用肥 30 kg/hm<sup>2</sup>;(2)绿肥翻压方式:提前翻压即小麦播前半个月绿肥压青、提前覆盖即小麦播前半月收获绿肥地上部并覆盖地表+播前翻压、播前翻压即小麦播前翻压绿肥。完全方案,共 3×3=9 个处理。另设不种绿肥(休闲)为对照。为了耕作方便,田间排列采取裂区设计,绿肥处理为主区,肥料处理为副区,重复 4 次。为了耕作方便,同一压青时间的处理集中排列,小区面积 6 m×6 m=36 m<sup>2</sup>。

2009 年 6 月 20 日播种绿肥,9 月 15 日进行提前翻压和提前覆盖处理,10 月 1 日进行播前翻压处理,10 月 3 日播种冬小麦。小麦播前一次施入 N 135 kg/hm<sup>2</sup>,  $P_2O_5$  120 kg/hm<sup>2</sup>, 施  $K_2O$  120 kg/hm<sup>2</sup>。2009—2010 年小麦生长季内降水量为 213.0 mm,低于前 50 a 同期平均降水量(275 mm);小麦播前复期间降水量为 289.2mm,也低于前 50 a 同期平均降水量(313 mm);全年降水量 502.2 mm,比前 50 a 同期平均降水量低 80.8 mm,属于干旱年份。

1.3 测定项目及方法

在绿肥盛花期、小麦播前、返青期、拔节期和收获后分别采集各处理小区 0~200 cm 土壤样品,20 cm 为一层,烘干法测定土壤水分含量。在小麦苗

期调查每小区基本苗、分蘖数,在春季调查小麦总茎数。各小区绿肥全区收获,计算地上部分生物量;每小区挖取代表性的 1 m 绿肥根系样段 6 个,估算地下部分生物量。小麦收获后分小区计产。

作物水分生产效率(WUE)采用以下公式计算: $WUE = Y/ET_c$ ,Y 为作物的产量(kg/hm<sup>2</sup>); $ET_c$  为作物全生育期耗水量(mm)。因该地区为雨养农业区,无灌溉,故  $ET_c = P - \Delta W$ ,式中,P 为生育期降水量(mm), $\Delta W$  为收获时与播种时土壤贮水量之差(mm)。

采用 Microsoft Excel 处理数据,用 SAS8.2 软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 施肥对绿肥生物量的影响

结果表明(表 1),与不施肥相比,施用豆科作物专用肥有利于提高绿肥盛花期地上部生物量,其中地上部鲜重的差异达到显著水平;然而,至绿肥结荚期时,这种效果完全消失,专用肥处理与不施肥处理的绿肥地上部生物量没有差异。施用专用肥对根系生物量没有显著影响。施用磷肥对根系生长的作用比地上部更明显:与不施肥处理相比,磷肥处理的绿肥盛花期地上部生物量提高 3.6%(鲜重)和 2.8%(干重),盛花期根系生物量提高 5.8%(鲜重)和 4.7%(干重);结荚期地上部生物量没有提高,而结荚期根系生物量提高 3.2%(鲜重)和 11.7%(干重)。

表 1 不同施肥处理对绿肥生物量的影响(kg/hm<sup>2</sup>)

Table 1 The influence of different fertilizer treatments on green manure biomass

| 施肥处理<br>Fertilizer<br>treatment                                                                                         | 地上部鲜重<br>Fresh weight<br>of shoot | 地上部干重<br>Dry weight<br>of shoot | 根系鲜重<br>Fresh weight<br>of root | 根系干重<br>Dry weight<br>of root | 绿肥总鲜重<br>Total fresh<br>weight | 绿肥总干重<br>Total dry<br>weight |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|------------------------------|
| 盛花期(提前翻压时)<br>During full flowering stage (when green manure was incorporated into soil half month before wheat sowing) |                                   |                                 |                                 |                               |                                |                              |
| 专用肥 SF                                                                                                                  | 12704 ± 573a                      | 2014 ± 196a                     | 167 ± 29a                       | 147 ± 26a                     | 12854 ± 618a                   | 2189 ± 236a                  |
| P 肥 P                                                                                                                   | 12273 ± 828ab                     | 1934 ± 146a                     | 181 ± 44a                       | 156 ± 36a                     | 12483 ± 985a                   | 2093 ± 185a                  |
| 不施肥 CK                                                                                                                  | 11851 ± 804b                      | 1882 ± 128a                     | 171 ± 26a                       | 149 ± 23a                     | 12193 ± 803a                   | 2063 ± 118a                  |
| 结荚期(小麦播前翻压时)<br>During podding stage (when green manure was incorporated into soil before wheat sowing)                 |                                   |                                 |                                 |                               |                                |                              |
| 专用肥 SF                                                                                                                  | 13298 ± 1014a                     | 2244 ± 401a                     | 270 ± 66a                       | 202 ± 31a                     | 13568 ± 1045a                  | 2446 ± 419a                  |
| P 肥 P                                                                                                                   | 13389 ± 246a                      | 2311 ± 68a                      | 290 ± 93a                       | 220 ± 75a                     | 13678 ± 280a                   | 2531 ± 68 a                  |
| 不施肥 CK                                                                                                                  | 13493 ± 500a                      | 2313 ± 249a                     | 281 ± 76a                       | 197 ± 16a                     | 13774 ± 522a                   | 2510 ± 240a                  |

注:不同字母表示不同肥料处理之间的差异达到显著水平(5%)

Note: Different letters mean significant differences among fertilizer treatments (5%).

2.2 绿肥翻压方式和绿肥播前施肥处理对小麦产量的影响

从表 2 可以看出,与不种绿肥(休闲)相比,绿肥

提前翻压时,小麦籽粒产量增加 18.4%,差异达到显著水平;提前覆盖和播前翻压均没有显著增产效果。与提前翻压处理相比,提前覆盖处理的小麦产

量显著降低。绿肥提前翻压时,施用专用肥的处理小麦籽粒产量比不施肥处理提高 14.2%,施用磷肥的处理小麦产量比不施肥处理提高 21.4%;绿肥提前覆盖时,施用专用肥的处理小麦籽粒产量比不施肥处理提高 18.6%,施用磷肥的处理小麦产量比不施肥处理提高 5.6%;绿肥在小麦播前翻压时,施用专用肥和施用磷肥处理的小麦产量则均低于不施肥处理。

与不种绿肥(休闲)相比,绿肥提前翻压时小麦地上部生物量有增加趋势。与播前翻压处理相比,提前翻压处理小麦地上部生物量显著提高。绿肥提

前翻压时,施用专用肥的处理小麦地上部生物量比不施肥处理提高 11.1%,施用磷肥的处理小麦地上部生物量比不施肥处理提高 18.7%;绿肥提前覆盖时,施用专用肥的处理小麦地上部生物量比不施肥处理提高 10.3%,施用磷肥的处理小麦地上部生物量比不施肥处理提高 8.9%;绿肥在小麦播前翻压时,施用专用肥和施用磷肥处理的小麦地上部生物量则均低于不施肥处理(表 2)。

绿肥翻压方式对小麦收获指数没有显著影响。施用专用肥的处理小麦收获指数有高于施磷肥处理和不施肥处理的趋势(表 2)。

表 2 绿肥翻压方式和绿肥播前施肥处理对小麦产量和收获指数的影响

Table 2 The influence of green manure incorporation methods and fertilizer treatments on wheat yield and harvest index

| 绿肥翻压方式<br>Green manure incorporation method |            | 提前翻压<br>Early incorporation | 提前覆盖<br>Early mulching | 播前翻压<br>Late incorporation | 不种绿肥<br>Summer fallow | 种绿肥处理平均<br>Average of three green manure treatments |
|---------------------------------------------|------------|-----------------------------|------------------------|----------------------------|-----------------------|-----------------------------------------------------|
| 小麦籽粒产量 Wheat yield(kg/hm <sup>2</sup> )     |            |                             |                        |                            |                       |                                                     |
| 绿肥作物<br>施肥处理<br>Fertilizer treatment        | 专用肥 SF     | 3480 ± 349                  | 3270 ± 410             | 2793 ± 114                 |                       | 3181 ± 416A                                         |
|                                             | P 肥 P      | 3699 ± 384                  | 2912 ± 736             | 2830 ± 429                 |                       | 3147 ± 637A                                         |
|                                             | 不施肥 CK     | 3048 ± 247                  | 2758 ± 77              | 2949 ± 283                 |                       | 2919 ± 237A                                         |
|                                             | 平均 Average | 3410a                       | 2980b                  | 2858b                      | 2880b                 |                                                     |
| 小麦地上部生物量 Wheat biomass(kg/hm <sup>2</sup> ) |            |                             |                        |                            |                       |                                                     |
| 绿肥作物<br>施肥处理<br>Fertilizer treatment        | 专用肥 SF     | 7201 ± 734                  | 6700 ± 779             | 5701 ± 208                 |                       | 6534 ± 865A                                         |
|                                             | P 肥 P      | 7698 ± 739                  | 6617 ± 1429            | 6046 ± 914                 |                       | 6787 ± 1202A                                        |
|                                             | 不施肥 CK     | 6483 ± 252                  | 6074 ± 167             | 6222 ± 471                 |                       | 6260 ± 342A                                         |
|                                             | 平均 Average | 7127a                       | 6464ab                 | 5990b                      | 6322ab                |                                                     |
| 小麦收获指数 Harvest index                        |            |                             |                        |                            |                       |                                                     |
| 绿肥作物<br>施肥处理<br>Fertilizer treatment        | 专用肥 SF     | 0.48 ± 0.01                 | 0.49 ± 0.01            | 0.49 ± 0.01                |                       | 0.49 ± 0.01A                                        |
|                                             | P 肥 P      | 0.48 ± 0.02                 | 0.44 ± 0.04            | 0.47 ± 0.01                |                       | 0.46 ± 0.03A                                        |
|                                             | 不施肥 CK     | 0.47 ± 0.02                 | 0.45 ± 0.01            | 0.47 ± 0.01                |                       | 0.47 ± 0.02A                                        |
|                                             | 平均 Average | 0.48a                       | 0.46a                  | 0.48a                      | 0.46a                 |                                                     |

注:不同大写字母表示不同肥料处理之间的差异达到显著水平(5%);小写字母表示不同绿肥翻压处理之间的差异达到显著水平(5%)。

Note: Different capital letters mean significant differences among fertilizer treatments (5%); while different lowercase letters mean significant differences among green manure incorporation methods (5%).

### 2.3 绿肥不同翻压方式和绿肥播前施肥处理对小麦产量三要素的影响

从表 3 可以看出,种植并翻压绿肥处理的小麦穗数均高于休闲处理,其中提前翻压处理的最高,显著高于耕翻休闲。绿肥提前翻压时,施用专用肥的处理小麦穗数比不施肥处理提高 10.9%,施用磷肥的处理小麦穗数比不施肥处理提高 15.1%;绿肥提前覆盖时,施用专用肥的处理小麦穗数比不施肥处理提高 0.5%,施用磷肥的处理小麦穗数比不施肥处理提高 3.4%;绿肥在小麦播前翻压时,施用专用肥和施用磷肥处理的小麦穗数则均低于不施肥处理。

种植绿肥处理的穗粒数低于休闲,其中播前翻

压处理与耕翻休闲的差异达到显著水平。绿肥提前翻压时,施用专用肥的处理小麦穗粒数比不施肥处理提高 3.7%,施用磷肥的处理小麦穗粒数比不施肥处理提高 7.4%;绿肥提前覆盖时,施用专用肥的处理小麦穗粒数比不施肥处理提高 16.0%,施用磷肥的处理小麦穗粒数比不施肥处理提高 8.0%;绿肥在小麦播前翻压时,施用专用肥的小麦穗粒数比不施肥处理提高 4.0%,施用磷肥处理小麦穗粒数比不施肥处理提高 8.0%(表 3)。

种植并翻压绿肥处理的小麦千粒重有高于休闲处理的趋势。施用磷肥处理的小麦千粒重低于施用专用肥处理和不施肥处理,其中与施用专用肥处理的差异达到显著水平(表 3)。

表 3 绿肥翻压方式和绿肥播前施肥处理对小麦产量三要素的影响

Table 3 The influence of green manure incorporation methods and fertilizer treatments on wheat yield components

| 绿肥翻压方式<br>Green manure incorporation<br>method                 |            | 提前翻压<br>Early<br>incorporation | 提前覆盖<br>Early<br>mulching | 播前翻压<br>Late<br>incorporation | 不种绿肥<br>Summer<br>fallow | 种绿肥处理平均<br>Average of three green<br>manure treatments |
|----------------------------------------------------------------|------------|--------------------------------|---------------------------|-------------------------------|--------------------------|--------------------------------------------------------|
| 小麦单位面积穗数 Spikes number (× 10 <sup>4</sup> /667m <sup>2</sup> ) |            |                                |                           |                               |                          |                                                        |
| 绿肥作物<br>施肥处理<br>Fertilizer<br>treatment                        | 专用肥 SF     | 18.8±1.1                       | 16.9±2.2                  | 16.8±3.8                      |                          | 17.5±2.6A                                              |
|                                                                | P 肥 P      | 19.5±1.8                       | 17.4±3.0                  | 16.2±1.6                      |                          | 17.7±2.5A                                              |
|                                                                | 不施肥 CK     | 16.9±0.9                       | 16.8±0.6                  | 17.4±0.7                      |                          | 17.1±0.7A                                              |
|                                                                | 平均 Average | 18.4a                          | 17.0ab                    | 16.8ab                        | 15.5b                    |                                                        |
| 小麦穗粒数 Kernels per spike                                        |            |                                |                           |                               |                          |                                                        |
| 绿肥作物<br>施肥处理<br>Fertilizer<br>treatment                        | 专用肥 SF     | 28±2                           | 29±3                      | 26±4                          |                          | 28±3A                                                  |
|                                                                | P 肥 P      | 29±2                           | 27±3                      | 27±1                          |                          | 28±2A                                                  |
|                                                                | 不施肥 CK     | 27±2                           | 25±1                      | 25±3                          |                          | 26±2A                                                  |
|                                                                | 平均 Average | 28ab                           | 27ab                      | 26b                           | 29a                      |                                                        |
| 小麦千粒重 1000-kernel weight(g)                                    |            |                                |                           |                               |                          |                                                        |
| 绿肥作物<br>施肥处理<br>Fertilizer<br>treatment                        | 专用肥 SF     | 43.8±0.7                       | 44.5±0.6                  | 44.0±0.5                      |                          | 44.1±0.6A                                              |
|                                                                | P 肥 P      | 42.9±0.7                       | 40.7±1.5                  | 42.5±1.2                      |                          | 42.0±1.5B                                              |
|                                                                | 不施肥 CK     | 43.7±0.7                       | 43.2±0.7                  | 44.7±3.1                      |                          | 43.9±1.8AB                                             |
|                                                                | 平均 Average | 43.5a                          | 42.8a                     | 43.8a                         | 42.0a                    |                                                        |

注:不同大写字母表示不同肥料处理之间的差异达到显著水平(5%);小写字母表示不同绿肥翻压处理之间的差异达到显著水平(5%)。

Note: Different capital letters mean significant differences among fertilizer treatments (5%); while different lowercase letters mean significant differences among green manure incorporation methods (5%).

2.4 绿肥不同翻压方式和绿肥播前施肥处理对小麦群体动态的影响

由表 4 可见,与不种绿肥(休闲)相比,夏季种植并翻压绿肥有降低冬小麦的基本苗数的趋势。绿肥播前施肥处理对小麦基本苗数没有显著影响。

与播前翻压处理相比,绿肥提前翻压和提前覆盖处理的小麦分蘖数显著提高。施用磷肥有利于提高小麦分蘖数:绿肥提前翻压时,施磷肥处理小麦分蘖数比不施肥处理提高 15.4%;绿肥提前覆盖时,施磷肥处理小麦分蘖数比不施肥处理提高 22.7%;绿肥播前翻压时,施磷肥对小麦分蘖数无显著影响(表 4)。

提前翻压处理的小麦春季总茎数显著高于休闲处理;提前覆盖和播前翻压处理的小麦总茎数则与休闲处理没有显著差异。绿肥提前翻压时,施用专用肥的处理小麦总茎数比不施肥处理提高 18.6%,施用磷肥的处理小麦总茎数比不施肥处理提高 12.7%;绿肥提前覆盖时,施用专用肥的处理小麦总茎数比不施肥处理提高 17.9%,施用磷肥的处理小麦总茎数比不施肥处理提高 42.2%;绿肥在小麦播前翻压时,施用专用肥的小麦总茎数比不施肥处理降低 11.2%,施用磷肥处理小麦总茎数比不施肥处理降低 7.4%(表 4)。

2.5 绿肥不同翻压方式对收获后土壤贮水量和水分生产效率的影响

由表 5 可见,夏季种植绿肥时消耗了较多的水分,所以小麦播前土壤贮水量显著低于不种绿肥处理;播前翻压处理由于绿肥生长期较长,因而消耗的水分比提前翻压处理的更多,在小麦播前土壤贮水量显著低于提前翻压处理。这种影响一直持续到小麦收获后:种植并翻压绿肥处理小麦收获后土壤贮水量仍低于不种绿肥处理,其中提前翻压处理的土壤贮水量与不种绿肥处理的差异达到显著差异。

不种绿肥处理小麦生育期耗水量显著高于种植绿肥处理;提前翻压处理耗水量显著高于提前覆盖和播前翻压处理。种植绿肥的处理水分生产效率高于休闲,其中提前翻压处理与休闲的差异达到显著水平。

2.6 绿肥不同翻压方式对土壤剖面水分分布的影响

绿肥翻压前种植绿肥的处理土壤剖面水分含量低于休闲处理,差异最大的深度为 60~100 cm(图 1),由此可见,种植绿肥处理的小麦播前土壤贮水量与休闲处理的差异主要是来自绿肥生长期的过度消耗。在小麦播前,种植并翻压绿肥处理与不种绿肥处理的水分差异主要表现在 60~100 cm,而表层及深层差异较小;提前翻压处理与提前覆盖、播前翻压处理的差异主要在 40 cm 以上土层。种植绿肥处理

与不种绿肥处理土壤剖面水分含量的差异在小麦返青期、拔节期一直较明显。

表 4 绿肥翻压方式和绿肥播前施肥处理对小麦群体动态的影响

Table 4 The influence of green manure incorporation methods and fertilizer treatments on wheat population dynamics

| 绿肥翻压方式<br>Green manure incorporation method                             |            | 提前翻压<br>Early incorporation | 提前覆盖<br>Early mulching | 播前翻压<br>Late incorporation | 不种绿肥<br>Summer fallow | 种绿肥处理平均<br>Average of three green manure treatments |
|-------------------------------------------------------------------------|------------|-----------------------------|------------------------|----------------------------|-----------------------|-----------------------------------------------------|
| 小麦基本苗 Seedling number ( $\times 10^5/\text{hm}^2$ )                     |            |                             |                        |                            |                       |                                                     |
| 绿肥作物<br>施肥处理<br>Fertilizer treatment                                    | 专用肥 SF     | 25.6 $\pm$ 1.8              | 23.9 $\pm$ 2.0         | 25.3 $\pm$ 2.4             |                       | 25.0 $\pm$ 2.3A                                     |
|                                                                         | P 肥 P      | 24.7 $\pm$ 1.7              | 25.1 $\pm$ 1.5         | 24.3 $\pm$ 3.5             |                       | 24.7 $\pm$ 2.5A                                     |
|                                                                         | 不施肥 CK     | 23.7 $\pm$ 2.3              | 24.2 $\pm$ 1.8         | 25.6 $\pm$ 1.7             |                       | 24.5 $\pm$ 2.2A                                     |
|                                                                         | 平均 Average | 24.7 $\pm$ 2.2a             | 24.4 $\pm$ 1.9a        | 25.1 $\pm$ 2.8a            | 26.1 $\pm$ 1.4a       |                                                     |
| 小麦冬季单株分蘖数 Tiller number                                                 |            |                             |                        |                            |                       |                                                     |
| 绿肥作物<br>施肥处理<br>Fertilizer treatment                                    | 专用肥 SF     | 2.3 $\pm$ 0.1               | 2.5 $\pm$ 0.2          | 2.0 $\pm$ 0.2              |                       | 2.2 $\pm$ 0.3B                                      |
|                                                                         | P 肥 P      | 3.0 $\pm$ 0.1               | 2.7 $\pm$ 0.1          | 2.0 $\pm$ 0.1              |                       | 2.6 $\pm$ 0.4A                                      |
|                                                                         | 不施肥 CK     | 2.6 $\pm$ 0.3               | 2.2 $\pm$ 0.3          | 2.1 $\pm$ 0.2              |                       | 2.3 $\pm$ 0.4AB                                     |
|                                                                         | 平均 Average | 2.6 $\pm$ 0.4a              | 2.4 $\pm$ 0.3a         | 2.0 $\pm$ 0.2b             | 2.3 $\pm$ 0.5ab       |                                                     |
| 小麦每公顷春季总茎数 Total shoot number per hectare ( $\times 10^5/\text{hm}^2$ ) |            |                             |                        |                            |                       |                                                     |
| 绿肥作物<br>施肥处理<br>Fertilizer treatment                                    | 专用肥 SF     | 56.1 $\pm$ 4.3              | 46.7 $\pm$ 5.2         | 33.4 $\pm$ 4.3             |                       | 45.4 $\pm$ 10.9A                                    |
|                                                                         | P 肥 P      | 53.3 $\pm$ 4.7              | 56.3 $\pm$ 7.0         | 34.8 $\pm$ 3.6             |                       | 48.1 $\pm$ 11.3A                                    |
|                                                                         | 不施肥 CK     | 47.3 $\pm$ 4.9              | 39.6 $\pm$ 10.3        | 37.6 $\pm$ 3.7             |                       | 41.5 $\pm$ 8.4A                                     |
|                                                                         | 平均 Average | 52.2 $\pm$ 5.7a             | 47.5 $\pm$ 10.1ab      | 35.3 $\pm$ 4.0c            | 42.3 $\pm$ 1.5bc      |                                                     |

注:不同大写字母表示不同肥料处理之间的差异达到显著水平(5%);小写字母表示不同绿肥翻压处理之间的差异达到显著水平(5%)。

Note: Different capital letters mean significant differences among fertilizer treatments (5%); while different lowercase letters mean significant differences among green manure incorporation methods (5%).

表 5 绿肥翻压方式对小麦耗水量和水分生产效率的影响

Table 5 The influence of different green manure incorporation methods on water consumption and water use efficiency of wheat

| 绿肥翻压方式<br>Green manure incorporation method                                     | 提前翻压<br>Early incorporation | 提前覆盖<br>Early mulch | 播前翻压<br>Late incorporation | 不种绿肥<br>Summer fallow |
|---------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|---------------------|----------------------------|-----------------------|
| 小麦播前 2 m 土壤贮水量(mm)<br>0~2 m soil water storage before wheat sowing              | 363.5 $\pm$ 2.1b            | 353.1 $\pm$ 11.5bc  | 345.4 $\pm$ 9.4c           | 424.6 $\pm$ 3.4a      |
| 小麦收获后 2 m 贮水量(mm)<br>0~2 m soil water storage after wheat harvest               | 242.6 $\pm$ 4.2b            | 251.3 $\pm$ 18.5ab  | 259.8 $\pm$ 15.2ab         | 268.6 $\pm$ 18.0a     |
| 小麦生育期耗水量(mm)<br>Water consumption during wheat growth period                    | 293.3 $\pm$ 1.8b            | 274.1 $\pm$ 15.8c   | 257.9 $\pm$ 19.5c          | 328.4 $\pm$ 2.8a      |
| 小麦水分生产效率[kg/( $\text{hm}^2 \cdot \text{mm}$ )]<br>Water use efficiency of wheat | 11.6 $\pm$ 1.8a             | 10.9 $\pm$ 0.2ab    | 11.1 $\pm$ 1.1ab           | 8.8 $\pm$ 1.8b        |

注:不同字母表示不同绿肥翻压处理之间的差异达到显著水平(5%)。

Note: Different letters mean significant differences among green manure incorporation treatments(5%).

### 3 结论与讨论

1) 翻压入土的绿肥生物量越高,一般培肥效果越好。因此,对于豆科绿肥来说,通过合理施肥获得较高的生物量也是绿肥种植技术中的一个重要环节。本研究结果表明,豆科绿肥专用肥显著提高绿肥盛花期地上部生物量,但对根系生长没有明显作用;施用磷肥则更有利于绿肥根系生物量的提高。这与前人的报道一致:童朝阳等<sup>[4]</sup>的研究表明大豆专用肥由于添加了磷肥、钾肥、微肥及其他调节成

分,大豆植株长势较常规施肥旺盛;韩建国等<sup>[3]</sup>曾报道,施用磷肥增加了草木樨地上(最高增产 41.5%)和地下(最高增产 80.1%)生物量积累。由此可见,通过施肥可以调控豆科绿肥的生物量,从而达到最佳的培肥效果。

与不施肥处理相比,施用绿肥专用肥和磷肥处理的小麦产量较高,特别是绿肥提前翻压时。这一方面可能是与其绿肥生物量较高,培肥效果较好有关;另一方面,还与其肥料的后效有关。不少研究结果表明,磷肥具有显著的后效。比如,在华北平原小

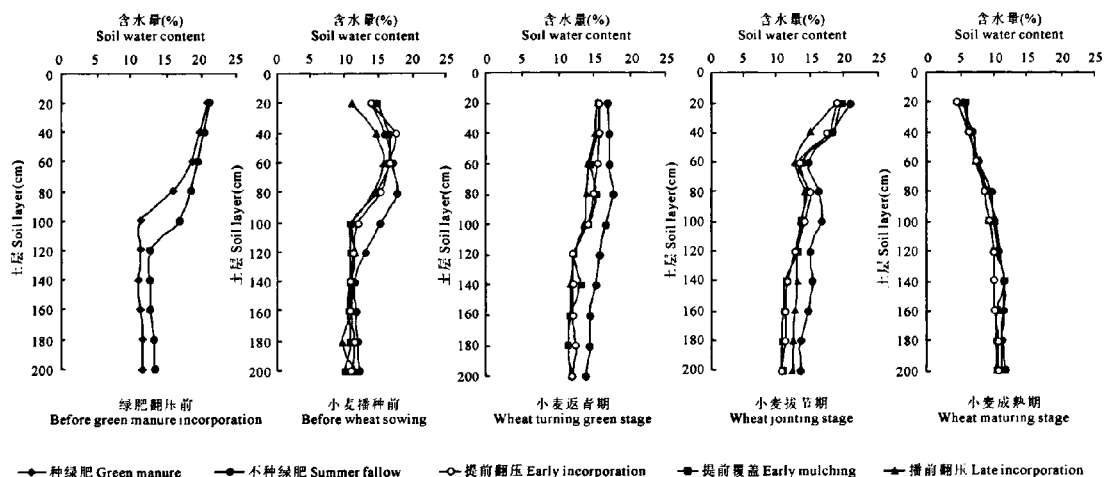


图1 绿肥翻压方式对土壤水分含量的影响

Fig.1 The influence of different methods of green manure incorporation on soil water content

麦-玉米轮作制度中,一次性施用  $P_2O_5$  360 ~ 720  $kg/hm^2$ ,后效至少保持 12 年 24 季作物,磷肥累积利用率是首季利用率的 12 倍以上<sup>[6]</sup>。在西北旱地,一次性施用  $P_2O_5$  75 ~ 300  $kg/hm^2$ ,后效至少保持 4 年 5 季作物,磷肥累积利用率是首季利用率的 2.1 ~ 2.9 倍<sup>[7]</sup>。本研究中,绿肥播前磷肥施用量虽然并不高 ( $P_2O_5$  40  $kg/hm^2$ ),但相信仍然是有后效的。

2) 我们在同一地区的前期研究表明<sup>[2]</sup>,由于夏闲期间种植豆科绿肥,消耗了较多的土壤水分,影响了后季小麦的生长,最终使小麦减产。而本研究发现,夏闲期种植并翻压豆科绿肥后虽然也使土壤贮水量显著降低,但并没有影响小麦产量,反而在提前翻压时还能显著提高小麦产量。这种不同结果在前人研究中也有报道。比如,周少平等<sup>[8]</sup>指出,在黄土高原西部小麦收获以后复种大豆,对后茬小麦的生长没有产生不利影响。在北美易旱地区人们特别不喜欢选用种植绿肥来提高地力的方式。原因之一是有些绿肥作物会枯竭土壤水分,进而影响禾谷类作物的生长,特别是出苗困难<sup>[9]</sup>。Danga 等指出,在湿润地区,短期豆类作物与谷类作物轮作时,豆类对土壤水分的消耗基本不会影响后续作物的产量;然而对于旱作农业来说,休闲期土壤贮水量是应该考虑的一个重要因素<sup>[10]</sup>。

水分条件是渭北旱原小麦生产的关键因素<sup>[11]</sup>。我们认为,不同试验中绿肥的效果可能与不同年份的降水量有关:前期研究<sup>[2]</sup>是在 2008—2009 年度,小麦播前翻压绿肥处理 0 ~ 200 cm 土壤贮水量比休闲处理低 77.5 ~ 92.6 mm (17.2% ~ 20.5%);同时,2008—2009 年小麦生长季内降水量为 161.4 mm,显

著低于前 50 年同期平均降水量 (275 mm)。本研究是在 2009—2010 年度,夏闲期种植并翻压绿肥处理在小麦播前 0 ~ 200 cm 土壤贮水量只比休闲处理低 61.1 ~ 79.2 mm (14.3% ~ 18.7%);2009—2010 年小麦生长季内降水量为 213.0 mm,虽然还是低于前 50 a 同期平均降水量 (275 mm),但与 2008—2009 年同期相比,降水量高出 51.6 mm (32.0%)。也就是说,本研究中小麦生长的水分条件要比前期研究中的条件好,这可能是翻压绿肥没有减产的主要原因。种植绿肥 3 个处理中,提前翻压处理小麦产量最高,其中原因之一可能也在于小麦播前该处理土壤贮水量较高。

3) 不同绿肥翻压处理中,提前翻压处理小麦产量最高,其单位面积穗数较高是直接因素,而较高的穗数又与春季总茎数较高有关,分蘖数较高又是总茎数高的主要原因,因为不同处理小麦基本苗差异不明显。绿肥提前覆盖处理小麦产量三要素与提前翻压处理相比都有降低的趋势,虽然差异没有达到显著水平,但最终导致产量显著低于提前翻压处理,这应该是三要素共同作用的结果;提前覆盖处理小麦穗数较低同样与春季总茎数较低和分蘖数较低有关。而绿肥播前翻压显著影响了小麦分蘖,继而影响了小麦总茎数,后期的小麦穗数和穗粒数都较低,最终导致小麦产量显著降低。与提前翻压处理相比,提前覆盖和播前翻压处理小麦分蘖数降低的原因一方面与播前土壤水分相对较少有关;另一方面,这两个处理由于绿肥腐解过程延迟(翻压晚,同时翻压后土壤温度比提前翻压处理的低),正好与小麦分蘖同期,绿肥腐解过程中会消耗较多的土壤水

分<sup>[12]</sup>;同时,绿肥腐解过程中可能会有化感物质产生并累积<sup>[13-15]</sup>,从而在一定程度上抑制小麦分蘖。因此,渭北旱原地区夏闲期豆科绿肥必须做到提前翻压才不至于影响后茬冬小麦生长。

#### 参考文献:

- [1] 李军,王立祥,蒋骏.西北黄土高原夏闲期农业气候资源状况及其评价[J].干旱地区农业研究,1992,10(4):9-14.
- [2] 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.
- [3] 罗贞宝.绿肥对烟田土壤的改良作用及对烟叶品质的影响[D].2006.
- [4] 董朝阳,韩丽梅,鞠会艳,等.大豆专用肥对轮作、连作大豆土壤酶活性和有效养分的影响[J].土壤肥料,2001,(3):17-29.
- [5] 韩建国,李鸿祥,马春晖,等.施肥对草木樨生产性能的影响[J].草业学报,2000,9(1):15-26.
- [6] 林继雄,林葆,艾卫.磷肥后效与利用率的定位研究[J].土壤肥料,1995,(6):1-5.
- [7] 王生录.磷肥后效及其土壤无机磷形态变化研究[J].甘肃农业科技,1999,(8):36-39.
- [8] 周少平,谭广祥,沈禹颖,等.保护性耕作下陇东春玉米-冬小麦-夏大豆轮作系统土壤水分动态及水分利用效率[J].草业科学,2008,25(7):69-76.
- [9] Janzen H H. Effect of fertilizer on soil productivity in long-term spring wheat rotations[J]. Can J Soil Sci, 1987,67:165-174.
- [10] Danga O B, Ouma P J, Wakindiki I C I, et al. Legume-wheat rotation effects on residual soil moisture, nitrogen and wheat yield in tropical regions[J]. Advances in Agronomy, 2009,101:315-349.
- [11] 李玉山,苏陕民,长武王东沟高效生态经济系统综合研究[M].北京:科学技术文献出版社,1991:115-125.
- [12] 匡恩俊,迟凤琴,张久明,等.不同条件下有机物料在黑土中分解规律的研究[J].中国农学通报,2010,26(7):152-155.
- [13] 柴强,黄高宝,黄鹏,等.鹰咀豆根系分泌物的分离鉴定及典型分泌物苯甲醛的化感效应[J].草业学报,2005,14(1):106-111.
- [14] 朱晓红,王朋,梁文举,等.自蓄化感作用的初步研究[J].生态学杂志,2004,23(3):128-130.
- [15] 韩丽梅,王树起,鞠会艳,等.大豆根分泌物的鉴定及其化感作用的初步研究[J].大豆科学,2000,19(2):119-125.

## Effect of fertilizer and green manure incorporation methods on the growth and water use efficiency of winter wheat

LI Jing<sup>1</sup>, ZHANG Da-bin<sup>1</sup>, WANG Zheng<sup>1</sup>, YAO Peng-wei<sup>1</sup>, ZHAO Na<sup>1</sup>, CAO Qun-hu<sup>2</sup>,  
YU Chang-wei<sup>2</sup>, CAO Wei-dong<sup>3</sup>, GAO Ya-jun<sup>1\*</sup>

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

2. Changwu Agro-technology Extension Center, Changwu, Shaanxi 713600, China;

3. Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China)

**Abstract:** An experiment was carried out to investigate the effect of different fertilizer on green manure biomass in summer fallow period and the growth of next winter wheat. The fertilizer treatments included CK(no fertilizer), P (phosphate fertilizer, 40 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/hm<sup>2</sup>) and SF (special fertilizer for leguminous green manure crops, 30 kg/hm<sup>2</sup>). The Effects of different methods of green manure incorporation on winter wheat yield and water production efficiency were also investigated. Green manure incorporation treatments included early incorporation (green manure was incorporated into soil half month before wheat sowing), early mulching (green manure crop was cut and left on the soil surface half month before wheat sowing, then incorporated into soil before wheat sowing), late incorporation (green manure was incorporated into soil before wheat sowing) and summer fallow (no green manure). The results showed that SF had significant higher aboveground biomass of green manure while SF had no effect on root biomass of green manure crop, compared with CK. P could increase root biomass of green manure crop. SF and P treatments obtained greater wheat yield, especially when green manure was incorporated into soil half month before wheat sowing. Early incorporation treatment had greater winter wheat tiller number, total shoot number, spike number and significantly higher wheat yield, compared with other treatments. Early incorporation treatment also increased water use efficiency of wheat compared with summer fallow. Soil water content differences through 0~200 cm profile between summer fallow and other three treatments were found from the date of green manure incorporation half month before wheat sowing to wheat jointing stage. There was obvious difference of soil water content above 40 cm depth among early incorporation, early mulch and late incorporation treatments.

**Keywords:** leguminous green manure; incorporation methods of green manure; special fertilizer for leguminous green manure crops; winter wheat; soil water storage; dryland