

# 长期秸秆覆盖条件下施氮对冬小麦生长的影响

王仁杰<sup>1</sup>, 芦俊俊<sup>1</sup>, 刘 炜<sup>2</sup>, 杨君林<sup>3</sup>, 张月霞<sup>1</sup>, 董明蕾<sup>1</sup>,  
李文龙<sup>1</sup>, 翟丙年<sup>1</sup>, 高亚军<sup>1,4</sup>

(1. 西北农林科技大学资源环境学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 陕西省宝鸡市农技推广服务中心, 陕西 宝鸡 721000;  
3. 甘肃省农业科学院土壤肥料与节水农业研究所, 甘肃 兰州 730070; 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:** 通过 9 年定位试验, 研究了秸秆覆盖(不覆盖和秸秆覆盖 4 500 kg·hm<sup>-2</sup>)和施氮量(0、75、150、225、300 kg·hm<sup>-2</sup>)对冬小麦群体动态、产量三要素和籽粒产量的影响。结果表明, 秸秆覆盖显著降低冬小麦越冬期分蘖数和春季总茎数, 越冬期分蘖数最多降低 24%, 春季总茎数最大降幅为 40.7%; 秸秆覆盖导致单位面积穗数减少, 平均降幅 5.6%, 但穗粒数有增加趋势, 对千粒重无显著影响; 与无覆盖相比, 秸秆覆盖的冬小麦籽粒产量略有降低。无论秸秆覆盖与否, 小麦越冬期分蘖数、春季总茎数以及单位面积穗数均与施氮量呈抛物线的关系, 穗粒数随施氮量的增加而增加, 千粒重则随施氮量增加而降低; 施用氮肥使小麦籽粒产量最高增幅接近 70%; 在供试条件下, 秸秆覆盖无增产效应。相比秸秆覆盖, 同样小麦产量水平下, 常规栽培需氮肥较少。

**关键词:** 秸秆覆盖; 冬小麦; 施氮量; 群体动态; 产量

**中图分类号:** S512.1<sup>+</sup>1      **文献标志码:** A

## Effects of nitrogen rate on the growth of winter wheat under long-term straw mulching

WANG Ren-jie<sup>1</sup>, LU Jun-jun<sup>1</sup>, LIU Wei<sup>2</sup>, YANG Jun-lin<sup>3</sup>, ZHANG Yue-xia<sup>1</sup>,  
DONG Ming-lei<sup>1</sup>, LI Wen-long<sup>1</sup>, ZHAI Bing-nian<sup>1</sup>, GAO Ya-jun<sup>1,4</sup>

(1. College of Resources & Environment, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;  
2. Soil-Fertilizer Station, Agricultural Bureau of Baoji, Baoji, Shaanxi 721000, China;  
3. Institute of Soil, Fertilizer and Water-saving Agriculture, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou, Gansu 730070, China;  
4. Key Laboratory of Plant Nutrition and the Agri-environment in Northwest China, Ministry of Agriculture, Yangling, Shaanxi 712100, China)

**Abstract:** A 9-year-long field experiment from 2004—2013 was carried out to investigate the effects of straw mulch (no mulch and straw mulch 4 500 kg·hm<sup>-2</sup>) and N rate (0, 75, 150, 225 and 300 kg·hm<sup>-2</sup>) on population dynamics, yield components and grain yield of winter wheat. The results showed that straw mulch significantly reduced overwintering tillers and total stem number in spring. Overwintering tillers and total stem number in spring under straw mulch reduced 24% and 40.7% compared with no mulch respectively. Straw mulch led to slight decrease (5.6%) of ears per hectare and slight increase of grain number per spike. 1000 grain weight had no significant change with straw mulch. A declining trend of wheat yield for straw mulch treatments was found compared to no mulch treatments. Regardless of no mulch or straw mulch, the relationships between overwintering tillers, total stem number in spring, ears per hectare and nitrogen fertilizer rate could be described by parabolic function. Grain number per spike increased while 1000 grain weight decreased with the increase of nitrogen rate. Application of nitrogen fertilizer almost increased grain yield by 70% compared to no nitrogen fertilizer input. No mulch treatments had higher wheat yield with less nitrogen fertilizer than straw mulch treatments. Straw mulch is not a good choice for improving winter wheat growth in this area.

**Keywords:** straw mulch; winter wheat; N rate; population dynamics; grain yield

收稿日期: 2015-05-20  
基金项目: 科技部支撑计划项目(2015BAD23B04); 国家小麦现代产业技术体系建设专项经费; 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  
作者简介: 王仁杰(1987—), 男, 山东菏泽人, 硕士研究生, 研究方向为农业物质循环与环境。E-mail: wrj6433681@163.com。  
通信作者: 高亚军(1968—), 男, 陕西岐山人, 教授, 博士, 主要从事旱地农业、土壤-植物系统中的氮素行为等方面的研究。E-mail: yajungao@nwsuaf.edu.cn。

为了应对频发并且逐年加剧的干旱,旱区普遍采取各种以覆盖为主的保护性耕作措施,比如秸秆覆盖、地膜覆盖、生物覆盖、垄上覆膜垄沟覆草等<sup>[1]</sup>。秸秆覆盖技术是保护性耕作中最重要的关键性技术,如何从实际情况出发,探讨比较适宜的秸秆覆盖模式并加以推广,对于实现旱地农业可持续发展具有重大的现实意义。

秸秆覆盖作为旱地农业增产的一项重要技术措施,具有显著提高土壤蓄水、保水和供水能力,调控土壤温度、改善土壤理化性状,达到培肥地力的效果<sup>[2-5]</sup>。不少研究得出,多年连续秸秆覆盖后表层土壤的全氮、磷,有效氮、磷以及总有机质含量均有明显提高<sup>[6-7]</sup>,同时微生物生物量<sup>[8-11]</sup>与相关酶活性<sup>[12]</sup>亦有提高。秸秆覆盖后土壤水分与养分状况发生了变化,那么相应地作物对肥料用量的反应可能随之改变。秸秆覆盖的水肥效应常常带来作物增产的结果,但是不少研究报道秸秆覆盖并没有使作物增产,甚至出现减产的现象<sup>[13-16]</sup>。

本研究通过冬小麦长期定位试验对以下问题进行讨论:秸秆覆盖后旱地小麦生长对施氮量的反应与不覆盖到底是否存在差异;秸秆覆盖条件下旱地小麦能不能增产;为什么不增产甚至减产,机理何在,与氮肥供应有什么关系。

# 1 材料与方法

## 1.1 试验地概况

试验安排在陕西杨凌西北农林科技大学农作一站进行。起始于 2004 年,2013 年结束。该地位于陕西省杨凌头道塬上,海拔 524.7 m,年平均气温 13℃左右,年平均降水量 550~600 mm。土壤类型为褐土类,瘠土亚类,红油土属,黄土母质。土壤基本性状见表 1。

表 1 试验地土壤基本性状

Table 1 Soil properties

| 土层深度<br>Soil depth<br>/cm | 有机质<br>Organic matter<br>/(g·kg <sup>-1</sup> ) | 有效磷<br>Available P<br>/(mg·kg <sup>-1</sup> ) | 铵态氮<br>NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> - N<br>/(mg·kg <sup>-1</sup> ) | 硝态氮<br>NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> - N<br>/(mg·kg <sup>-1</sup> ) |
|---------------------------|-------------------------------------------------|-----------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| 0~20                      | 13.79                                           | 4.93                                          | 2.41                                                               | 5.43                                                               |
| 20~40                     | 11.43                                           | 3.10                                          | 2.32                                                               | 6.12                                                               |
| 40~60                     | 8.00                                            | 2.21                                          | 1.95                                                               | 1.34                                                               |
| 60~80                     | 7.36                                            | 1.89                                          | 2.65                                                               | 8.65                                                               |
| 80~100                    | 6.69                                            | 2.01                                          | 2.57                                                               | 8.65                                                               |

## 1.2 试验设计

试验包括秸秆覆盖和施氮量两个因素,采用裂区设计,覆盖为主因素,施氮量为副因素。覆盖包括

秸秆覆盖和不覆盖两个处理,覆盖量为 4 500 kg·hm<sup>-2</sup>。施氮量设 5 个水平,即 0、75、150、225、300 kg·hm<sup>-2</sup>。小区面积为 4 m×5 m=20 m<sup>2</sup>。供试小麦品种为小偃 22-3。整个小麦生育期无灌溉,收获后休闲。

## 1.3 测定指标及方法

在越冬期和返青期,每个小区选取 3 个 1 米长样方统计其基本苗和分蘖数,冬小麦收获时,每个小区先进行 3 个 1 米样段地上部小麦样品采集,然后进行全区收获,风干后获得小麦产量。将获取的小麦分为茎叶和穗两部分,调查总穗数、总穗粒数和总籽粒干重,计算出小麦公顷穗数、穗粒数以及千粒重。

## 1.4 数据统计与分析

采用 SAS 8.01 对试验数据进行多因素方差(ANOVA)分析、LSD 法显著性检验( $P < 0.05$ ),Sigma plot 12.0 和 Excel 2003 进行图表绘制。

# 2 结果与分析

## 2.1 秸秆覆盖下施氮对冬小麦群体动态的影响

秸秆覆盖与不同施氮量条件下冬小麦越冬期分蘖数与春季总茎数见表 2。与不覆盖相比,秸秆覆盖处理降低了小麦越冬期分蘖数,其中有 6 年的差异达到了显著水平,平均降低 15.9%,在 2008 年时下降幅度最大,为 24%。秸秆覆盖对春季总茎数的影响与冬季分蘖数的规律相似,9 年当中也有 6 年秸秆覆盖处理总茎数显著低于不覆盖处理,平均降低 25.2%,其中 2010 年春季总茎数下降幅度最大,为 40.7%。说明秸秆覆盖对小麦群体动态有不利的影响。

由表 2 可以看出,增施氮肥能够显著增加小麦越冬期分蘖数和春季总茎数,施氮处理的小麦越冬期分蘖数和春季总茎数相比不施氮肥平均增幅分别为 7.8% 和 39.5%。并且施氮量为 225 kg·hm<sup>-2</sup>时增加的幅度最大,分别比不施氮肥的越冬期分蘖数和春季总茎数高 10% 和 45.4%。

将不同处理 9 年的平均小麦分蘖数( $y$ )与施氮量( $x$ )拟合二元回归方程,结果如下:

覆盖:  $y = 1.6963 + 0.0009x - 0.000002x^2$   
( $R^2 = 0.867, P < 0.01$ )

不覆盖:  $y = 1.9818 + 0.0013x - 0.000002x^2$   
( $R^2 = 0.883, P < 0.01$ )

对方程做肥料效应分析,秸秆覆盖条件下施氮量为 225 kg·hm<sup>-2</sup>分蘖数最高,为 1.78 个·株<sup>-1</sup>;不覆盖时施氮量 325 kg·hm<sup>-2</sup>时分蘖数最高,达 2.19 个·株<sup>-1</sup>。

将不同处理 9 年的平均小麦总茎数( $y$ )与施氮量( $x$ )拟合二元回归方程,结果如下:

覆盖: $y = 814.46 + 2.7504x - 0.0069x^2$   
( $R^2 = 0.996, P < 0.01$ )

不覆盖: $y = 962.09 + 4.937x - 0.00111x^2$   
( $R^2 = 0.995, P < 0.01$ )

对方程做肥料效应分析,得到秸秆覆盖条件下总茎数在施氮量为  $200\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$  得到最大值  $1\,088\text{ 万株}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,不覆盖时需施氮  $222\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$  得到最高分蘖数  $1\,511\text{ 万株}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。

2009、2010 年覆盖方式和施氮量对春季总茎数有显著交互作用,其余年份其交互效应并不显著。

表 2 2004—2013 年秸秆覆盖下冬小麦群体动态变化  
Table 2 Changes in population dynamics of winter wheat under straw mulching from 2005 to 2013

| 处理 Treatments          |                      | 越冬期分蘖数 Tiller number in winter per plant |        |       |        |       |       |        |       |       |
|------------------------|----------------------|------------------------------------------|--------|-------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|
|                        |                      | 2005                                     | 2006   | 2007  | 2008   | 2009  | 2010  | 2011   | 2012  | 2013  |
| 覆盖方式<br>Mulch methods  | 覆盖 Straw mulching    | 1.55B                                    | 1.45B  | 2.28A | 1.8B   | 1.66B | 1.35B | 2.15B  | 2.33A | 1.17A |
|                        | 不覆盖 No mulching      | 1.87A                                    | 1.58A  | 2.71A | 2.37A  | 1.84A | 1.51A | 2.65A  | 2.75A | 1.48A |
| 施氮水平<br>Nitrogen rates | N0                   | 1.51b                                    | 1.49ab | 2.49b | 1.98b  | 1.64a | 1.19c | 2.12b  | 2.54a | 1.25a |
|                        | N75                  | 1.76a                                    | 1.67a  | 2.27b | 2.14ab | 1.70a | 1.42b | 2.31ab | 2.44a | 1.37a |
|                        | N150                 | 1.54b                                    | 1.47b  | 2.41b | 2.10ab | 1.78a | 1.46b | 2.41ab | 2.66a | 1.30a |
|                        | N225                 | 1.81a                                    | 1.54ab | 2.40b | 2.26a  | 1.83a | 1.62a | 2.58a  | 2.47a | 1.33a |
|                        | N300                 | 1.72ab                                   | 1.43b  | 2.93a | 1.95b  | 1.80a | 1.47b | 2.59a  | 2.60a | 1.37a |
|                        | 覆盖×施氮 Mulch×Nitrogen | NS                                       | NS     | NS    | NS     | NS    | NS    | NS     | NS    | NS    |

| 处理 Treatments          |                      | 春季总茎数 Total number of stems in spring/(10 <sup>4</sup> ·hm <sup>-2</sup> ) |         |        |        |      |       |       |       |       |
|------------------------|----------------------|----------------------------------------------------------------------------|---------|--------|--------|------|-------|-------|-------|-------|
|                        |                      | 2005                                                                       | 2006    | 2007   | 2008   | 2009 | 2010  | 2011  | 2012  | 2013  |
| 覆盖方式<br>Mulch methods  | 覆盖 Straw mulching    | 1483B                                                                      | 1508.8B | 1182A  | 797B   | 798A | 700B  | 961B  | 748A  | 762B  |
|                        | 不覆盖 No mulching      | 2081A                                                                      | 2017.2A | 1370A  | 1273A  | 960A | 1181A | 1150A | 906A  | 1008A |
| 施氮水平<br>Nitrogen rates | N0                   | 1226b                                                                      | 1519b   | 1022c  | 803b   | 656b | 668b  | 558c  | 677c  | 811b  |
|                        | N75                  | 1722a                                                                      | 1878a   | 1245b  | 1001ab | 946a | 975a  | 914b  | 742bc | 818b  |
|                        | N150                 | 2087a                                                                      | 1894a   | 1302b  | 1066a  | 984a | 1056a | 1264a | 884ab | 832b  |
|                        | N225                 | 1986a                                                                      | 1798ab  | 1469a  | 1200a  | 944a | 1014a | 1317a | 860ab | 955a  |
|                        | N300                 | 1890a                                                                      | 1726ab  | 1342ab | 1105a  | 864a | 991a  | 1224a | 971a  | 1010a |
|                        | 覆盖×施氮 Mulch×Nitrogen | NS                                                                         | NS      | NS     | NS     | *    | *     | NS    | NS    | NS    |

2.2 秸秆覆盖下施氮对冬小麦产量三要素的影响

各处理的小麦产量构成要素见表 3~表 5。秸秆覆盖处理平均穗数为  $552\times 10^4\text{ hm}^{-2}$ ,低于无覆盖处理( $585\times 10^4\text{ hm}^{-2}$ ),2007 年两者差异达到显著水平(表 3)。可能原因是秸秆覆盖降低了冬小麦的春季总茎数。秸秆覆盖处理平均穗粒数为 34.1 粒,稍高于无覆盖处理(32.6 粒),其中 2008 年两者差异达到显著水平(表 4)。秸秆覆盖处理与无覆盖处理的平均千粒重均为 37.3 g(表 5)。随施氮量的增加,公顷穗数呈现先增加后减小的趋势,在施氮量为  $150\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$  时达到最高值,比不施氮处理增幅高达 39.4%。穗粒数随施氮量的增加而增加,施氮量为  $300\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$  时穗粒数最高,比不施氮处理增幅达到 32.8%。然而增施氮肥会降低小麦千粒重,其中除 2012、2013 年外差异均达到显著水平。

将不同处理 9 年的平均小麦穗数、穗粒数、千粒重分别与施氮量( $x$ )拟合回归方程,结果如下:

覆盖: $y_{\text{穗数}} = 421.73 + 1.8228x - 0.0042x^2$   
( $R^2 = 0.994, P < 0.01$ )

不覆盖: $y_{\text{穗数}} = 474.94 + 1.6559x - 0.0041x^2$   
( $R^2 = 0.961, P < 0.01$ )

覆盖: $y_{\text{穗粒数}} = 0.0337x + 30.572$ ( $R^2 = 0.970, P < 0.01$ )

不覆盖: $y_{\text{穗粒数}} = 0.0268x + 31.126$ ( $R^2 = 0.938, P < 0.01$ )

覆盖: $y_{\text{千粒重}} = -0.0106x + 40.257$ ( $R^2 = 0.890, P < 0.01$ )

不覆盖: $y_{\text{千粒重}} = -0.0150x + 40.992$ ( $R^2 = 0.961, P < 0.01$ )

对方程做肥料效应分析,秸秆覆盖条件下施氮量为  $217\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$  时穗数可达最大值  $620\text{ 万穗}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,不覆盖条件下施氮量  $202\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$  时达到最高穗数( $642\text{ 万穗}\cdot\text{hm}^{-2}$ )。而无论秸秆覆盖与否,小麦穗粒数与施氮量有显著正相关关系,千粒重与施

氮量则呈显著负相关。施氮量高于 80 kg·hm<sup>-2</sup>时秸秆覆盖的穗粒数高于不覆盖处理,施氮量高于 167 kg·hm<sup>-2</sup>时秸秆覆盖的千粒重高于不覆盖处理。其中,相比不覆盖条件下,穗粒数在秸秆覆盖时对氮肥用量响应更为敏感,而千粒重表现出相反趋势。

连续 9 年覆盖与施氮对冬小麦产量三要素均无显著交互效应。

表 3 2007—2013 年不同处理下冬小麦的单位面积穗数/(万穗·hm<sup>-2</sup>)

Table 3 Spikes number of winter wheat under different treatment from 2007 to 2013

| 处理 Treatment           |                         | 2007  | 2008  | 2009  | 2010 | 2011 | 2012 | 2013  |
|------------------------|-------------------------|-------|-------|-------|------|------|------|-------|
| 覆盖方式<br>Mulch methods  | 覆盖 Straw mulching       | 824B  | 646A  | 546A  | 412A | 551A | 541A | 342A  |
|                        | 不覆盖 No mulching         | 994A  | 692A  | 524A  | 404A | 541A | 544A | 394A  |
| 施氮水平<br>Nitrogen rates | N0                      | 791b  | 492c  | 460b  | 264b | 342c | 439b | 323b  |
|                        | N75                     | 1032a | 658b  | 559ab | 392a | 473b | 487b | 332b  |
|                        | N150                    | 918ab | 739a  | 583a  | 464a | 637a | 574a | 423a  |
|                        | N225                    | 964ab | 744a  | 542ab | 481a | 613a | 617a | 358ab |
|                        | N300                    | 842b  | 712ab | 532ab | 458a | 666a | 595a | 403ab |
|                        | 覆盖×施氮<br>Mulch×Nitrogen | NS    | NS    | NS    | NS   | NS   | NS   | NS    |

表 4 2005—2013 年不同处理下冬小麦的穗粒数

Table 4 Grains per spike of winter wheat under different treatment from 2005 to 2013

| 处理 Treatment           |                         | 2005   | 2006   | 2007   | 2008  | 2009  | 2010  | 2011   | 2012  | 2013   |
|------------------------|-------------------------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|--------|-------|--------|
| 覆盖方式<br>Mulch methods  | 覆盖 Straw mulching       | 31.1A  | 42.9A  | 26.9A  | 44.9A | 29.8A | 38.1A | 33.3A  | 32.8A | 26.9A  |
|                        | 不覆盖 No mulching         | 29.1A  | 42.5A  | 24.8A  | 41.3B | 29.9A | 39.0A | 33.7A  | 33.5A | 29.4A  |
| 施氮水平<br>Nitrogen rates | N0                      | 27.2b  | 41.0b  | 23.2b  | 40.8b | 12.4c | 27.9c | 27.1c  | 31.1b | 25.5c  |
|                        | N75                     | 29.6ab | 39.6b  | 25.2ab | 42.5b | 28.4b | 35.9b | 31.3bc | 32.8b | 27.2bc |
|                        | N150                    | 29.2ab | 43.4ab | 26.0ab | 40.5b | 35.7a | 38.5b | 35.8ab | 32.8b | 28.7ab |
|                        | N225                    | 30.8ab | 46.2a  | 26.9a  | 43.6b | 35.9a | 45.2a | 35.6ab | 32.9b | 29.2ab |
|                        | N300                    | 33.7a  | 43.5ab | 27.9a  | 48.4a | 36.8a | 45.6a | 37.9a  | 36.2a | 30.2a  |
|                        | 覆盖×施氮<br>Mulch×Nitrogen | NS     | NS     | NS     | NS    | NS    | NS    | NS     | NS    | NS     |

表 5 2005—2013 年不同处理下冬小麦的千粒重/g

Table 5 1000-kernel weight of winter wheat under different treatment from 2005 to 2013

| 处理 Treatment           |                         | 2005  | 2006   | 2007  | 2008  | 2009  | 2010   | 2011  | 2012  | 2013  |
|------------------------|-------------------------|-------|--------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|
| 覆盖方式<br>Mulch methods  | 覆盖 Straw mulching       | 39.7A | 43.4A  | 36.1A | 43.0A | 30.3A | 37.8A  | 31.1A | 40.3A | 33.7A |
|                        | 不覆盖 No mulching         | 38.4A | 42.6A  | 36.3A | 42.9A | 31.4A | 38.6A  | 32.1A | 40.4A | 33.2A |
| 施氮水平<br>Nitrogen rates | N0                      | 41.7a | 43.7ab | 40.3a | 43.2a | 34.4a | 40.0ab | 35.5a | 41.0a | 33.6a |
|                        | N75                     | 40.1a | 43.7a  | 39.1a | 43.6a | 32.7a | 41.4a  | 31.6b | 40.9a | 33.9a |
|                        | N150                    | 37.4b | 42.5ab | 34.8b | 43.4a | 29.2b | 38.3b  | 30.4b | 39.6a | 33.4a |
|                        | N225                    | 37.9b | 42.4b  | 34.3b | 42.4a | 29.6b | 35.6c  | 29.4b | 40.3a | 33.1a |
|                        | N300                    | 38.2b | 42.8ab | 32.3b | 42.2a | 28.3b | 35.6c  | 30.9b | 40.0a | 33.2a |
|                        | 覆盖×施氮<br>Mulch×Nitrogen | NS    | NS     | NS    | NS    | NS    | NS     | NS    | NS    | NS    |

2.3 秸秆覆盖下施氮对冬小麦产量的影响

秸秆覆盖和不覆盖处理施氮对小麦产量的影响规律一致,施用氮肥都显著提高小麦的籽粒产量(图 1 和图 2)。秸秆覆盖时施氮 225 kg·hm<sup>-2</sup>处理平均

比不施氮肥处理增产 69.3%,不覆盖时施氮 300 kg·hm<sup>-2</sup>处理平均要比不施氮肥处理增产 69.2%。

由图 3 可知,整体来看,秸秆覆盖有降低小麦产量的趋势,9 年平均降幅约为 7%,随着施氮量的增

加,减产幅度先增后降,施氮量为  $150\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$  时减产幅度最明显,但未达到显著水平。将不同处理 9 年的平均小麦籽粒产量( $y$ )与施氮量( $x$ )拟合二元回归方程,结果如下:

覆盖: $y = 3212 + 16.41x - 0.03x^2 (R^2 = 0.997, P < 0.01)$

不覆盖: $y = 3426 + 20.78x - 0.046x^2 (R^2 = 0.966, P < 0.01)$

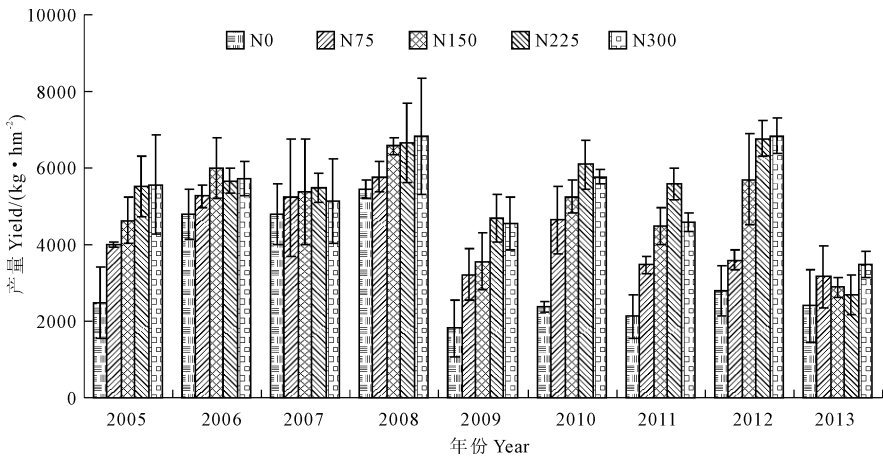


图 1 2005—2013 年覆盖条件下不同施氮量对冬小麦产量的影响

Fig.1 Effect of N rate on yield of winter wheat under straw mulch in 2005—2013

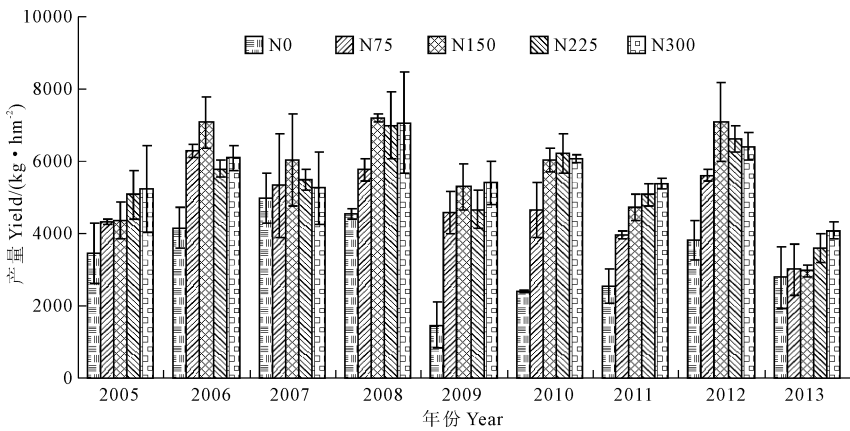


图 2 2005—2013 年不覆盖条件下不同施氮量对冬小麦产量的影响

Fig.2 Effect of N rate on yield of winter wheat under no mulch in 2005—2013

对方程做肥料效应分析,得到秸秆覆盖和不覆盖条件下施氮量分别为  $274$ 、 $226\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$  时,可以获得最高产量分别为  $5\,456$ 、 $5\,773\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。实际生产中农民不单纯追求产量,获取最大经济效益才是最终目的,所以还需考虑肥料投入成本与小麦售价。若以当地小麦售价  $2\text{ 元}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,氮肥价格  $4.78\text{ 元}\cdot\text{kg}^{-1}$  计,仅考虑肥料投入成本,秸秆覆盖条件下施氮量为  $234\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$  时投入回报率最高,可以获得最大经济效益  $9\,700\text{ 元}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,不覆盖条件下,最佳经济施氮量为  $200\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,最大经济效益为  $10\,528\text{ 元}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,由此可见,不覆盖可以在较低的肥料投入条件下获得更高的经济效益。

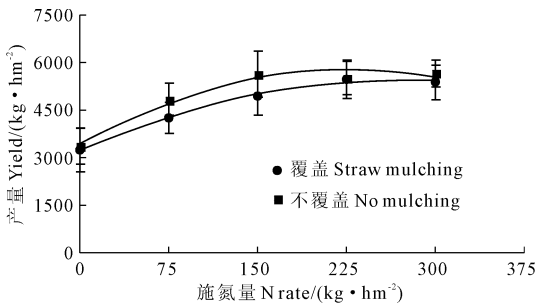


图 3 秸秆覆盖与不覆盖施氮量对冬小麦产量的影响

Fig.3 Effect of N rate on yield of winter wheat under straw mulch and no mulch

### 3 讨论

通过对9年的试验结果分析可以看出,秸秆覆盖处理降低了冬小麦越冬期蘖数和春季总茎数,从而导致穗数呈减少趋势,另外穗粒数较不覆盖略有增加,千粒重基本相同,最终使秸秆覆盖的小麦产量略有降低。马忠明等在甘肃河西绿洲所做的研究认为早期秸秆覆盖(播种前和冬前秸秆覆盖)机械阻碍了作物出苗,春季的降温效应影响其前期生长,最终影响作物产量,但是苗后进行秸秆覆盖可以增加玉米产量<sup>[17-18]</sup>。李少昆在华北平原玉米小麦轮作系统中的研究得出玉米秸秆覆盖免耕会降低冬小麦出苗率,最大降幅可达16.2%的结论,总结原因是播种过浅和覆盖量应控制在 $7\ 000\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 左右<sup>[19]</sup>,与本实验覆盖量有所差异。闫翠平在山西省临汾市所做的研究结果显示秸秆配施氮肥处理冬小麦拔节期总茎数、单株分蘖数低于化肥单施<sup>[20]</sup>。范春燕等认为秸秆覆盖还田免耕对小麦生长发育及产量有不良影响,从产量三要素看,减产原因主要是出苗率偏低,且出苗后生长发育较差,分蘖少,有效穗数不足<sup>[21]</sup>,如果覆盖配合深耕则可以提高产量。陈素英等在太行山前平原的试验发现覆盖量为 $6\ 000\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 秸秆覆盖使千粒重有下降趋势,分析原因可能是覆盖导致土壤温度低,促使小麦生育期延迟,灌浆期缩短,进而灌浆期籽粒饱满度下降<sup>[22-23]</sup>,但是当少量覆盖时( $3\ 000\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ )则可以增产。张树兰通过同样地点的田间试验和总结前人数据发现秸秆覆盖造成小麦收获指数降低的原因是籽粒灌浆期热胁迫较为严重,降低了千粒重<sup>[24]</sup>。这与我们得出的秸秆覆盖对千粒重没有影响的结果有差异,她认为这是秸秆覆盖下氮肥一次性施入造成的。Zhou、Chen以及Gao等提到秸秆覆盖春季地温低,生育期延迟,使公顷穗数下降,最终导致小麦减产<sup>[13-16]</sup>。本研究小组前期的研究表明,秸秆覆盖在小麦越冬前期的“增温效应”和越冬后期的“降温效应”可能是造成冬小麦冬季分蘖数和春季总茎数降低的原因(未发表数据)。通过总结前人研究并与本试验相比较,笔者认为在旱作地区秸秆覆盖的负面效应确实存在,但是可以通过改变覆盖时期、调整覆盖量和增加氮肥的追肥,可避免其负面作用,最终实现高产的目的。

无论是否覆盖,小麦越冬期分蘖数和春季总茎数都随施氮量的增加先增加后降低,并且不覆盖能获得更高的分蘖数和总茎数。小麦公顷穗数和最终产量随施氮量的增加表现出了相同的规律。表明合

理的氮素供应是提高小麦群体动态的关键<sup>[25]</sup>,达到增产目的<sup>[26]</sup>。但施氮过量会导致小麦抗逆性降低、易倒伏、贪青晚熟和籽粒充实度降低<sup>[27-29]</sup>。反而不利于小麦生长<sup>[30]</sup>。虽然穗粒数随施氮量增加而增加,但无法弥补过高氮肥导致的穗数和千粒重降低的幅度,最后导致小麦产量降低。这与前人结果一致<sup>[31-34]</sup>。不覆盖在相同氮水平能够获得更高分蘖数和总茎数可能是因为秸秆覆盖对作物出苗及幼苗生长产生了抑制作用<sup>[35]</sup>。秸秆覆盖下最高产量施氮量与经济最佳产量施氮量与不覆盖差异较大,不覆盖秸秆能够投入更少的氮肥而获得更高的产量。

本研究结果发现,覆盖条件下即便多施 $50\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 的氮肥也无法获得与不覆盖相同的产量,不仅耗费了大量财力物力,而且也是对秸秆资源的浪费。随着养殖业的迅猛发展,秸秆的饲料用途越来越得到人们关注<sup>[36]</sup>,调查发现2006年中国接近1/3的秸秆用于饲料生产<sup>[37]</sup>,在秸秆覆盖不能对作物增产时,相对于焚烧秸秆,秸秆的饲料用途不仅会大大增加农民经济效益,而且保护了环境,是农业可持续发展的重要保障<sup>[38]</sup>。

高亚军等曾通过对大量研究文献的分析指出,虽然秸秆覆盖技术在中国已广泛应用,但不论从实践上还是理论上都有许多问题值得深入探讨<sup>[1]</sup>。比如,秸秆覆盖改变了农田下垫面的性质,使其形成了特殊的农田小气候,水肥关系发生了变化,因此,覆盖条件下的水肥管理应与不覆盖时有所不同<sup>[36-37]</sup>。另外,影响小麦籽粒产量的因素除了肥料之外,另一重要因素便是水分<sup>[38]</sup>,所以降雨可能会影响秸秆覆盖效应。因此应该进一步分析不同降雨年型下秸秆覆盖的效应。通过进一步深入挖掘和分析数据,得到秸秆覆盖影响小麦产量的机理,为完善西北旱区秸秆覆盖栽培模式技术的施用和推广提供理论依据及技术基础。

### 4 结论

通过分析9年田间定位试验结果,我们认为长期秸秆覆盖条件下施氮对冬小麦的生长和产量形成主要有以下几个方面的影响:

- 1) 与不覆盖相比秸秆覆盖降低了冬小麦分蘖数和春季总茎数,导致单位面积穗数略有减少,最终表现出减产趋势;
- 2) 无论覆盖与否,施用适量氮肥能够促进冬小麦生长,获得更高产量;
- 3) 相比秸秆覆盖,不覆盖条件下配施较氮肥可

以获得更高的小麦产量。

综上所述,在当地秸秆覆盖措施对冬小麦无增产作用,还需结合秸秆覆盖蓄水、培肥地力等方面,更加准确评价秸秆覆盖的综合效益。

# 参 考 文 献:

- [1] 高亚军,李生秀.旱地秸秆覆盖条件下作物减产的原因及作用机制分析[J].农业工程学报,2005,21(7):15-19.
- [2] 李生秀.中国旱地农业[M].北京:中国农业出版社,2004.
- [3] 沈振荣,汪林,于福亮,等.节水新概念[M].北京:中国水利水电出版社,2000.
- [4] 梁银丽,张成娥,郭东伟.黄土高原区农田覆盖效应与前景分析[J].中国生态农业研究,2001,9(1):55-57.
- [5] Zhang S L, Victor Sadras, Chen X P, et al. Water use efficiency of dry land wheat in the Loess Plateau in response to soil and crop management[J]. Field Crops Research, 2013,151:9-18.
- [6] Stephen J, Song C, Herbert S, et al. Ecological effects of cover crops[J]. The journal of applied ecology, 2002,13(3):365-368.
- [7] Luxh J, Elsgaard L, Thomsen I K, et al. Effects of long-term annual inputs of straw and organic manure on plant N uptake and soil N fluxes[J]. Soil Use Manage, 2007,23:368-373.
- [8] Yunchao G, Wenshan Z, Wenxin C. The relationship between soil microbial biomass and the transformation of plant nutrients in straw mulched no-tillage soils[J]. Scientia Agricultura Sinica, 1994,27(6):41-49.
- [9] 王 筋,王树楼.旱地玉米免耕整地秸秆覆盖土壤养分,结构和生物研究[J].山西农业科学,1994,22(3):17-19.
- [10] 宋秋华,李凤民,刘洪升,等.黄土区地膜覆盖对麦田土壤微生物体碳的影响[J].应用生态学报,2003,14(9):1512-1516.
- [11] 陈锡时,郭树凡.地膜覆盖栽培对土壤微生物种群和生物活性的影响[J].应用生态学报,1998,9(4):435-439.
- [12] 万忠梅,吴景贵.土壤酶活性影响因子研究进展[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2005,33(6):87-92.
- [13] Chen S Y, Zhang X Y, Pei D, et al. Effects of straw mulching on soil temperature, evaporation and yield of winter wheat: field experiments on the North China Plain[J]. Annals of applied biology, 2007, 150(3):261-268.
- [14] Yajun Gao, Yun Li, Jianchang Zhang, et al. Effects of mulch, N fertilizer, and plant density on wheat yield, wheat nitrogen uptake, and residual soil nitrate in a dryland area of China[J]. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 2009,85(2):109-121.
- [15] Li Q, Chen Y, Liu M, et al. Effects of irrigation and straw mulching on microclimate characteristics and water use efficiency of winter wheat in North China[J]. Plant production science, 2008,11(2):161-170.
- [16] Zhou J, Wang C, Zhang H, et al. Effect of water saving management practices and nitrogen fertilizer rate on crop yield and water use efficiency in a winter wheat-summer maize cropping system[J]. Field Crops Research, 2011,122(2):157-163.
- [17] 马忠明,徐生明.甘肃河西绿洲灌区玉米秸秆覆盖效应的研究[J].甘肃农业科技,1998,(3):14-16.
- [18] 陈素英,张喜英,刘孟雨.玉米秸秆覆盖麦田下的土壤温度和土壤水分动态规律[J].中国农业气象,2002,23(4):34-37.
- [19] 李少昆,王克如,冯聚凯.玉米秸秆还田与不同耕作方式下影响小麦出苗的因素[J].作物学报,2006,32(3):463-465.
- [20] 闫翠萍,裴雪霞,王姣爱,等.秸秆还田与施氮对冬小麦生长发育及水肥利用率的影响[J].中国生态农业学报,2011,19(2):271-275.
- [21] 范春燕,许继东.2种保护性耕作技术对小麦产量的影响[J].现代农业科技,2010,(23):51-53,53.
- [22] 陈素英,张喜英,裴冬,等.玉米秸秆覆盖对麦田土壤温度和土壤蒸发的影响[J].农业工程学报,2005,21(10):171-173.
- [23] 陈素英,张喜英,胡春胜,等.秸秆覆盖对夏玉米生长过程及水分利用的影响[J].干旱地区农业研究,2002,20(4):55-57,66.
- [24] 张树兰,刘俊梅,黎青慧,等.秸秆覆盖下旱地小麦收获指数降低的原因解析[J].干旱地区农业研究,2014,32(1):47-51.
- [25] 张定一,党建友,王姣爱,等.施氮量对不同品质类型小麦产量、品质和旗叶光合总用的调节效应[J].植物营养与肥料学报,2007,13(4):535-542.
- [26] 高亚军,郑险峰,李世清,等.农田秸秆覆盖条件下冬小麦增产的水氮条件[J].农业工程学报,2008,24(1):55-59.
- [27] 赵 鹏,陈 阜.豫北秸秆还田配施氮肥对冬小麦氮利用及土壤硝态氮的短期效应[J].中国农业大学学报,2008,13(4):19-23.
- [28] 赵 鹏,陈 阜.秸秆还田配施化学氮肥对冬小麦氮效率和产量的影响[J].作物学报,2008,34(6):1014-1018.
- [29] 汪 军,王德建,张 刚.秸秆还田下氮肥用量对水稻产量及养分吸收的影响[J].土壤,2009,41(6):1004-1008.
- [30] 王香芝.秸秆覆盖的土壤改良效应[J].现代农业科技,2009,(14):254-254.
- [31] 于振文.小麦产量与品质生理及栽培技术[M].北京:中国农业出版社,2006.
- [32] 王月福,于振文,李尚霞,等.小麦籽粒灌浆过程中有关淀粉合成酶的活性及其效应[J].作物学报,2003,29(1):75-81.
- [33] 王月福,于振文,李尚霞,等.施氮量对小麦籽粒蛋白质组含量及加工品质的影响[J].中国农业科学,2002,35(9):1071-1078.
- [34] 周顺利,张福锁,王兴仁.高产条件下冬小麦产量性状的品种差异及氮肥效应[J].麦类作物学报,2001,21(2):67-71.
- [35] 刘 超,汪有科,湛景武.秸秆覆盖量对农田土面蒸发的影响[J].农业工程学报,2008,24(5):448-451.
- [36] 王力生,章孝荣,马友华,等.安徽省秸秆饲料化利用现状、问题及对策[J].中国牛业科学,2010,36(2):46-48.
- [37] 高利伟,马 林,张卫峰,等.中国作物秸秆养分资源数量估算及其利用状况[J].农业工程学报,2009,25(7):173-179.
- [38] 杨增玲,楚天舒,韩鲁佳,等.秸秆饲料化集成技术模式及其区域适用性评价[J].农业工程学报,2013,29(23):186-193.
- [39] 杜尧东,刘作新,赵国强,等.冬小麦田秸秆覆盖的小气候效应[J].生态学杂志,2000,19(3):20-23.
- [40] 朱自玺,方文松,赵国强,等.麦秸和残茬覆盖对夏玉米农田小气候的影响[J].干旱地区农业研究,2000,18(2):19-24.
- [41] Zhang S L, RLi P, Yang X Y, et al. Effects of tillage and plastic mulch on soil water, growth and yield of spring ~ sown maize[J]. Soil & Tillage Research, 2011,112:92-97.