

DOI: 10.3724/SP.J.1006.2016.00751

小麦秸秆还田方式对轮作玉米干物质累积分配及产量的影响

殷文** 冯福学** 赵财 于爱忠 柴强* 胡发龙 郭瑶

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: 研究茬口对轮作作物的产量贡献及干物质积累与分配规律的影响, 对于优化作物高产高效栽培理论和技术具有重要意义。本研究在甘肃河西绿洲灌区, 通过田间试验, 研究了前茬小麦不同秸秆还田方式(25 cm 高茬收割免耕, NTSS; 25 cm 高茬等量秸秆覆盖免耕, NTS; 25 cm 高茬等量秸秆翻压, TIS; 低茬收割翻耕, CT)对轮作玉米干物质积累和分配及产量的影响, 以期为该区前茬小麦轮作玉米生产模式提供优化依据。结果表明, 与 CT 相比, NTSS、NTS、TIS 提高了玉米抽穗后干物质的积累量, 两年平均高 4.8%~12.7%, NTS 较 NTSS、TIS 具有更高的干物质累积作用; NTSS、NTS、TIS 可提高玉米叶、茎、鞘对籽粒的贡献率, 提高幅度平均为 12.8%~25.0%、6.3%~11.3%、18.3%~78.4%, 其中 NTS 较 NTSS、TIS 提高作用更突出。NTSS、NTS、TIS 提高了玉米的籽粒产量, 增幅为 11.3%~17.5%, 其中 NTS 两年籽粒产量最高, 分别达到 13 470 kg hm⁻² 和 13 274 kg hm⁻², 较 TIS 高 5.6%~9.0%; 穗粒数增加是小麦秸秆还田提高轮作玉米产量的主要原因。同时 NTS 获得较高的收获指数, 提高比例为 6.4%~8.4%, 说明 NTS 较其他处理增产的另一原因是提高了收获指数。本研究表明, 其前茬小麦秸秆覆盖结合免耕(NTS)可作为绿洲灌区优化后茬玉米干物质累积规律及获得高产的理想耕作措施。

关键词: 秸秆还田; 轮作; 干物质分配; 产量; 收获指数

Effects of Wheat Straw Returning Patterns on Characteristics of Dry Matter Accumulation, Distribution and Yield of Rotation Maize

YIN Wen**, FENG Fu-Xue**, ZHAO Cai, YU Ai-Zhong, CHAI Qiang*, HU Fa-Long, and GUO Yao

Gansu Provincial Key Laboratory of Arid Land Crop Science / Agronomy College, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China

Abstract: Research on the response of dry matter accumulation, distribution and yield of crops to previous straw returning usually plays an important role for optimizing cropping systems. In this investigation, a field experiment was carried out in typical oasis irrigation region, to determine the characteristics of dry matter distribution and yield of rotated maize with four previous wheat straw treatments, including 25 cm no tillage with straw standing (NTSS); 25 cm no tillage with straw covering (NTS); 25 cm tillage with straw incorporation (TIS); and conventional tillage (CT). The results showed that, compared with CT, NTSS, NTS, TIS significantly increased dry matter accumulation by an average of 4.8% to 12.7% after maize heading stage in two years; and improved contribution rate to grain yield (i.e. GCR) of maize by an average of 12.8% to 25.0% from leaf, 6.3% to 11.3% from stem, and 18.3% to 78.4% from sheath, respectively. Especially, NTS had more improvement than NTSS, TIS. The grain yield of maize was 11.3% to 17.5% higher in the three straw returning treatments than in CT check. NTS exhibited the most significant effect of improving yield, reaching 13 470 and 13 274 kg ha⁻¹ in two study years, which was 5.6% to 9.0% higher than that of TIS due to the increase of kernel number per spike. Meanwhile, NTS had the best effect on increasing harvest index, which was increased by 6.4% to 8.4% during the two study years, and resulted in a high grain yield. Our results showed that NTS treatment is recommended as the best feasible cultural method to optimize dry matter accumulation, distribution and obtain high yield for rotated

本研究由国家自然科学基金项目(31360323), 国家公益性行业(农业)科研项目(201503125-3)和国家科技支撑计划项目(2012BAD14B10)资助。

This study was supported by the National Natural Science Foundation of China (31360323), the Special Fund for Agro-scientific Research in the Public Interest (201503125-3), and National Key Technology Support Program of China (2012BAD14B10).

* 通讯作者(Corresponding author): 柴强, E-mail: chaiq@gsau.edu.cn

第一作者联系方式: 殷文, E-mail: yinwentx@126.com; 冯福学, E-mail: fengfuxue@163.com

**同等贡献(Contributed equally to this work)

Received(收稿日期): 2015-11-07; Accepted(接受日期): 2016-03-02; Published online(网络出版日期): 2016-03-11.

URL: <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.1809.S.20160311.1605.012.html>

maize in the oasis irrigation region.

Keywords: Straw returning; Rotation; Dry matter distribution; Yield; Harvest index

玉米作为粮饲兼用作物,在解决温饱、保障粮食安全和饲料安全等方面发挥着重要作用^[1],研究与区域自然资源和生 产习惯相吻合的高效种植制度,对推动玉米生产高效发展具有重要指导意义。西北绿洲灌区气候适宜、雨热同期、光照充足,为玉米的种植提供了天然的优越条件,但在玉米生产过程中存在连作病虫害严重等问题,严重制约了当地玉米产业的发展^[2]。而作物轮作倒茬作为一种可持续的农业种植模式,通过改善土壤团粒结构、平衡土壤养分、减少病虫害,达到作物稳产、高产,提高农业资源转化率^[3-4],为此,如何在玉米生产过程中充分发挥轮作倒茬的作用,是当地玉米产业可持续发展的重要研究方向之一。作物生长发育过程中,源库关系的协调平衡发展,是作物获得高产的基础,“源”的大小对“库”的建成及其潜力的发挥具有明显的作用,“库”原有的生产潜力能否转化为最终的籽粒产量取决于同化“源”的供应量^[5],因此探讨前茬小麦秸秆还田对后茬玉米源库关系的影响,对于充分发挥玉米增产优势具有重要意义。另外,西北绿洲灌区是我国水资源最为短缺的地区之一,而且农业用水占有比例大,因此,亟待优化种植制度以研发农业节水技术。相关研究表明,少耕秸秆还田具有保墒蓄水、抑制蒸发、减少径流和保持水土的功能,同时具有改善土壤结构、调节地温、增加产量和提高水分利用效率等作用^[6-7]。鉴于少耕秸秆还田在提高作物产量及资源利用率方面的显著作用,以及轮作增产和提高系统稳定性等方面的优势,这些技术在提高干旱地区农田资源利用效率方面得到了深入研究和应用^[4,6]。纵观作物生长发育规律,光合产物的累积特征及其有效分配是决定资源利用效率 and 经济效益的关键因素,研究特定管理措施下的作物光合产物累积、分配规律,可为作物高产高效栽培提供重要理论和实践依据。因此,本研究在典型干旱绿洲灌区将小麦秸秆还田与地膜覆盖组装集成在玉米栽培模式中,重点探讨前茬小麦秸秆还田及耕作方式对后茬玉米产量及生育后期干物质累积与分配规律的影响,以期为区域内发展高产玉米栽培技术提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

甘肃农业大学绿洲农业科研教学基地(37°30'N,

103°5'E)位于河西走廊东端,属寒温带干旱气候区,年平均气温 7.2℃,≥0℃和≥10℃的积温分别为 3513.4℃和 2985.4℃;日照时数 2945 h。该区玉米播种比例大于 30%,普遍连作,耕作以传统深翻耕为主。

1.2 试验设计

设小麦 25 cm 高茬收割立茬免耕(NTSS)、25 cm 高茬等量秸秆覆盖免耕(NTS)、25 cm 高茬等量秸秆翻压(TIS)、传统低茬收割翻耕(CT) 4 种茬口处理,次年轮作玉米,形成小麦-玉米轮作体系。各处理 3 次重复,裂区排列。2009 年布置预备试验,建立不同留茬高度及秸秆还田方式,2010 年与 2012 年度测定轮作玉米的相关指标,2010 与 2012 年属于相同年型,气候条件相似,测定数据具有代表性。

玉米播种日期分别为 2010 年 4 月 22 日与 2012 年 4 月 20 日,收获日期分别为 2010 年 9 月 28 日与 2012 年 10 月 2 日。播种密度为 82 500 株 hm^{-2} ,小区面积 48 m^2 。传统耕作前茬小麦收获后翻耕,翌年撒施底肥,然后耙耱、覆膜;秸秆还田免耕小麦高茬收割后免耕,翌年撒施底肥,然后旋耕、耙耱、覆膜;4 月下旬穴播点种。在玉米出苗后,二至三叶期间苗,四至五叶期定苗,其他管理措施同高产田。

供试玉米(*Zea mays* L.)品种为武科 2 号。总施纯氮 450 kg hm^{-2} ,按基肥 大喇叭口期追肥 灌浆期追肥=3 6 1 分施;纯 P_2O_5 225 kg hm^{-2} ,全作基肥。灌溉制度为冬储灌 1200 $\text{m}^3 \text{hm}^{-2}$,拔节期、大喇叭口期、抽雄吐丝期、开花期、灌浆期分别灌水 900、750、900、750、750 $\text{m}^3 \text{hm}^{-2}$ 。

1.3 测定指标与计算方法

1.3.1 干物质 玉米抽穗后,从各小区每隔约 20 d (4 个生育时期:吐丝期、灌浆期、蜡熟期、完熟期)用“S”型法取 5 株玉米,分为叶片、茎秆、鞘、穗 4 个部分,于 105℃下杀青 1 h 后,在 80℃下烘 24 h 至恒质量后称质量,并计算营养器官的物质转运量(DTA)、转运率(DTR)、营养器官对籽粒贡献率(GCR)^[8]。

营养器官的物质转运量(DTA, kg) = 该器官最大干重-该器官成熟时干重

营养器官的物质转运率(DTR, %) = [(该器官最大干重-该器官成熟时干重)/该器官最大干重]×100%;

营养器官对籽粒贡献率(GCR, %) = [(该器官最

大干重-该器官成熟时干重)/籽粒干重] $\times 100\%$ 。

1.3.2 产量及收获指数 单独收获每小区,测定生物产量(BY)和籽粒产量(GY),计算收获指数(HI)。

$HI = GY/BY$

1.4 数据统计

采用 Microsoft Excel 2007 整理、汇总数据,用 SPSS17.0 进行方差分析、显著性检验。

2 结果与分析

2.1 不同处理玉米地上部干物质累积及分配特性

2.1.1 干物质累积动态 2010 和 2012 年度玉米吐丝期,3 种秸秆还田处理(NTSS、NTS、TIS)的干物质累积量较 CT 高 5.0%~17.5%, NTS 较 NTSS 高 3.5%~9.7% (图 1)。说明免耕小麦秸秆覆盖还田利于后茬玉米生长前期干物质的累积。灌浆期与蜡熟期,NTSS、NTS、TIS 轮作玉米的干物质累积量较 CT

分别高 5.8%~18.1%与 5.5%~12.7%;灌浆期 NTS 较 NTSS 高 6.6%~8.9%。

由于玉米灌浆期之后 NTSS 处于快速增长阶段,至完熟期,与 NTS 的干物质累积量相当,使得完熟期,NTSS、NTS、TIS 较 CT 高 4.0%~11.5%, NTS、NTSS 较 TIS 高 4.7%~6.7%。说明免耕秸秆还田可促进后茬玉米的生长发育,提前达到旺盛生长期。纵观 3 个生育时期,免耕小麦秸秆还田处理明显加快了干物质积累速率。

2.1.2 地上部干物质分配特性 作物干物质的累积是籽粒产量的基础,而通过研究各器官干物质的分配可优化作物籽粒产量形成过程。玉米随着生育时期的推进,叶、茎、鞘的干物质分配比率逐渐降低,而穗部逐渐增大(图2),即干物质分配呈前期扩源后期增库的变化规律;但是前茬小麦秸秆还

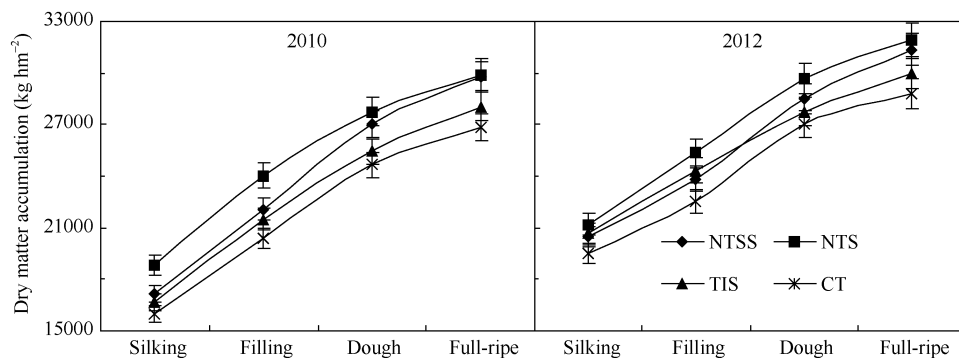


图 1 不同处理玉米的干物质累积动态

Fig. 1 Dynamics of dry matter accumulation of maize in different treatments

NTSS: 高茬收割立茬免耕; NTS: 高茬等量秸秆覆盖免耕; TIS: 高茬等量秸秆翻压; CT: 传统耕作。

NTSS: no-tillage with straw standing; NTS: no-tillage with straw covering; TIS: tillage with straw incorporation; CT: conventional tillage.

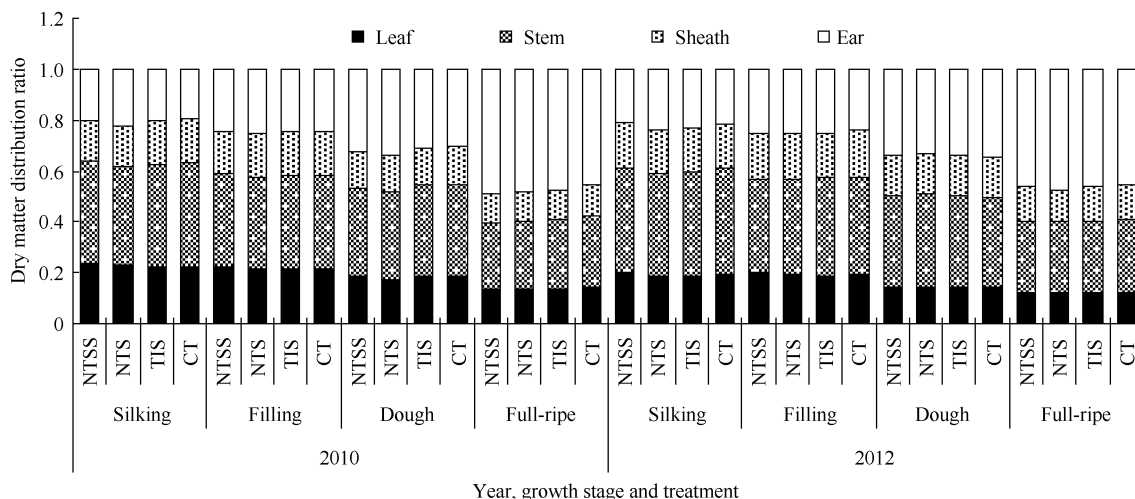


图 2 不同处理玉米各器官干物质分配比率

Fig. 2 Dry matter distribution ratio in different organs of maize under different treatments

NTSS: 高茬收割立茬免耕; NTS: 高茬等量秸秆覆盖免耕; TIS: 高茬等量秸秆翻压; CT: 传统耕作。

NTSS: no-tillage with straw standing; NTS: no-tillage with straw covering; TIS: tillage with straw incorporation; CT: conventional tillage.

田结合免耕对后茬玉米各处理干物质分配具有促进作用。2010 与 2012 年度, 玉米吐丝期, 3 种秸秆还田处理(NTSS、NTS、TIS)穗部干物质分配高于传统耕作处理(CT), 达到 4.0%~12.6%, NTS 较 NTSS、TIS 具有更高的穗部干物质分配, 高 3.7%~14.3%。

灌浆期与蜡熟期, NTSS、NTS 轮作玉米的穗部干物质分配均高于 CT, 平均高 3.0%~7.5%; 2010 年, NTS 较之 NTSS、TIS 具有更高的提高玉米穗部干物质分配的作用, 高 3.7%~6.4%。

由于玉米灌浆期之后, NTSS 处于快速增长阶段, 穗部干物质分配明显加快, 至完熟期与 NTS 的穗部干物质分配量相当, 使得完熟期 NTSS、NTS、TIS 较 CT 平均高 3.8%~5.9%, 3 种秸秆还田处理中 NTS 作用明显。说明免耕秸秆还田可促进后茬玉米穗部干物质的分配, NTS 作用突出, 是玉米获得较高籽粒产量的适宜茬口管理及耕作措施。

2.1.3 小麦秸秆还田对轮作玉米不同器官干物质运转的影响 2010 与 2012 年度, 2 个免耕秸秆还田处理(NTSS、NTS)玉米叶片对籽粒产量的贡献率较传统耕作(CT)高 11.9%~31.1%, NTS 比 NTSS、TIS 具有更高的叶片对籽粒产量的贡献率, 达到 4.7%~23.2% (表 1)。NTSS、NTS、TIS 处理玉米茎对籽粒产量的贡献率较 CT 高 2.7%~13.9%, NTS 比 TIS 高 3.6%~6.0%。与叶片、茎转运特征相似, 3 种秸秆还田处理玉米鞘对籽粒产量的贡献率较 CT 提高了

17.7%~83.5%, NTS 较 NTSS、TIS 高 38.4%~56.0%。因此, 25 cm 高秸秆覆盖结合免耕(NTS)是提高玉米各器官对籽粒贡献的适宜茬口管理措施。

2.2 不同处理的籽粒产量及产量效益机制分析

2.2.1 产量表现 与传统耕作相比, 小麦秸秆还田显著提高了轮作玉米的籽粒产量(图 2), 2 个试验年度高 4.5%~17.5%, 增产效果显著。3 种秸秆还田处理中均以小麦秸秆 25 cm 高茬等量覆盖免耕处理(NTS)的籽粒产量最高, 分别达到 13 470 kg hm⁻² 与 13 247 kg hm⁻², 较 TIS 提高 5.7%~9.0%。由此说明前茬小麦秸秆 25 cm 高茬等量覆盖结合免耕有利于提高玉米籽粒产量。

前茬小麦秸秆还田对轮作玉米光合产物转化的影响具有差异(图 3), 但 2010 与 2012 年度 NTS 的收获指数均高于 CT, 提高比例为 5.4%~8.4%, 说明 25 cm 高秸秆覆盖结合免耕(NTS)是提高玉米光合产物转化的适宜茬口管理措施。

2.2.2 产量效益机制分析 2010 与 2012 年度, 不同秸秆还田及耕作方式下, 轮作玉米籽粒产量与穗数、穗粒数、粒重的相关分析和通径分析结果表明, 玉米籽粒产量与上述指标均呈显著正相关(表 2)。通过籽粒产量与上述指标的直接通径系数可以看出, 不同秸秆还田及耕作方式对轮作玉米籽粒产量构成因素的影响为穗粒数>穗数>千粒重; 通过籽粒产量与上述指标的间接通径系数可以看出, 穗数通过粒重对产量的贡献率最大, 穗粒数通过穗数对

表 1 不同处理玉米各器官干物质运转及对籽粒的贡献率

Table 1 Dry matter translocation and contribution rate to grain yield of every organ in maize in different treatments

处理 Treatment	叶 Leaf			茎 Stem			鞘 Sheath		
	转运量 DTA (kg)	转运率 DTR (%)	贡献率 GCR (%)	转运量 DTA (kg)	转运率 DTR (%)	贡献率 GCR (%)	转运量 DTA (kg)	转运率 DTR (%)	贡献率 GCR (%)
2010									
NTSS	994 a	19.49 a	7.61 a	1613 ab	17.23 a	12.36 ab	453 b	12.12 b	3.47 b
NTS	1074 a	20.92 a	7.97 a	1707 a	17.82 a	12.67 a	647 a	15.39 a	4.80 a
TIS	835 b	17.57 b	6.54 b	1526 b	16.75 a	11.96 b	393 c	10.72 c	3.08 b
CT	768 b	16.68 b	6.70 b	1335 c	15.11 b	11.65 c	300 d	8.11 d	2.62 c
2012									
NTSS	894 b	18.61 b	6.85 b	1549 ab	15.01 b	11.87 b	414 b	9.08 b	3.17 b
NTS	1063 a	21.26 a	8.02 a	1656 a	15.80 a	12.50 a	597 a	12.88 a	4.51 a
TIS	792 c	17.77 bc	6.51 bc	1467 b	14.96 b	12.07 ab	376 b	8.53 b	3.09 b
CT	713 c	16.80 c	6.12 c	1279 c	13.40 c	10.98 c	303 c	7.10 c	2.60 c

数据后不同字母表示同一年度中所有处理在 0.05 概率水平下差异显著。NTSS: 高茬收割立茬免耕; NTS: 高茬等量秸秆覆盖免耕; TIS: 高茬等量秸秆翻压; CT: 传统耕作。

Values followed by different letters are significantly different within the same year among the treatments at the 0.05 probability level. NTSS: no-tillage with straw standing; NTS: no-tillage with straw covering; TIS: tillage with straw incorporation; CT: conventional tillage; DTA: dry matter translocation amount; DTR: dry matter translocation ratio; GCR: grain contribution rate.

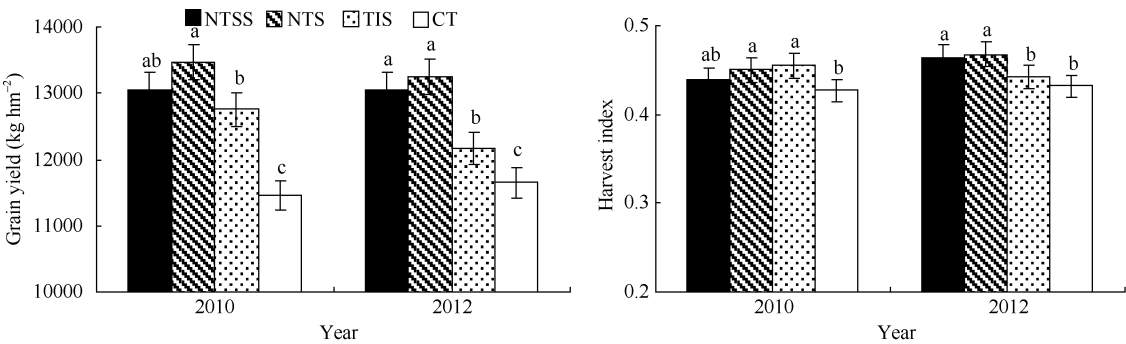


图 3 不同处理玉米的产量及收获指数

Fig. 3 Yield and harvest index of maize under different treatments

NTSS: 高茬收割立茬免耕; NTS: 高茬等量秸秆覆盖免耕; TIS: 高茬等量秸秆翻压; CT: 传统耕作。
NTSS: no-tillage with straw standing; NTS: no-tillage with straw covering; TIS: tillage with straw incorporation; CT: conventional tillage.

表 2 不同处理玉米籽粒产量与产量因素的相关系数和通径系数

Table 2 Correlation coefficient and path coefficient of maize between grain yield and yield components, respectively

年份 Year	指标 Index	与籽粒产量的简单相关系数 Correlation coefficient with yield	直接通径系数 Direct path coefficient	间接通径系数 Indirect path coefficient		
				X_1	X_2	X_3
2010	X_1	0.832**	0.112	—	0.045	0.675
	X_2	0.983**	0.820	0.083	—	0.080
	X_3	0.773**	0.097	0.067	0.609	—
2012	X_1	0.832**	0.339	—	0.010	0.483
	X_2	0.909**	0.641	0.256	—	0.012
	X_3	0.708**	0.016	0.208	0.483	—

** 表示 0.01 水平上相关显著; X_1 、 X_2 和 X_3 分别表示穗数、穗粒数、粒重。

** Correlation is significant at the 0.01 probability level, respectively. X_1 , X_2 , and X_3 indicate spike number (SN), kernel number per spike (KNS), and thousand-kernel weight (TKW), respectively.

产量的贡献最大, 粒重通过穗粒数对产量的贡献最大。由此说明, 适宜的耕作及小麦秸秆还田方式主要是通过提高轮作玉米穗粒数来提高籽粒产量。

3 讨论

干物质是作物光合作用产物的最高形式, 其积累和分配与籽粒产量有密切关系。因此, 它一直是高产栽培研究的重点, 也是揭示高产机制的重要方面。众多研究认为, 作物产量实质上是通过光合作用直接或间接形成的, 并取决于光合产物的积累与分配^[9-10]。通过农艺措施的改良, 如施肥、交替灌溉等优化作物干物质的积累与分配规律是作物获得高产的重要方式之一^[11-12]。本研究表明, 自玉米抽穗后, 随着生长发育的推进, 其叶片、叶鞘、茎秆等器官干物重由高到低递减, 而穗部籽粒干物重由低到高递增, 其中, 前茬小麦秸秆还田轮作玉米的生长速率高于传统耕作, 各营养器官的干物质转运量、转运率及对籽粒产量的贡献均高于传统耕作, 特别是前茬小麦 25 cm 高茬等量秸秆覆盖免耕处理(NTS)尤为突出。

玉米干物质在各营养器官的分配随生长发育中心的转移而变化, 研究表明, 小喇叭口期之前主要分配在叶片中, 小喇叭口期至开花散粉期主要分配在叶片、茎秆中, 开花散粉之后则转向果穗, 供籽粒生长发育, 因而在春玉米栽培上, 前期要促进根、叶的生长, 中期要壮秆和扩大绿叶面积, 并促进光合产物合理地向籽粒转移^[13]。因此, 本研究通过前茬小麦秸秆还田轮作玉米, 使得玉米吐丝前干物质主要分配在叶片、茎秆、叶鞘中, 而吐丝之后主要转向穗部籽粒灌浆, 其中, 前茬 25 cm 高茬等量秸秆覆盖免耕处理(NTS)在玉米吐丝前促进了干物质向各营养器官的运转, 而吐丝后又加快了穗部籽粒灌浆, 利于高产。

免耕小麦秸秆还田轮作玉米可优化干物质的分配及转运规律。在春玉米一生中, 籽粒大部分是后期叶片光合作用的产物, 这部分占完熟期籽粒重的 74.4%~85.0%; 另一部分来源于前期植株光合作用贮存于叶片、叶鞘和茎秆的养分, 到灌浆阶段转移到籽粒, 这一部分只占籽粒重的 15.0%~25.6%, 表明前期促叶壮秆扩大源的供应能力固然重要, 但后

期保证玉米庞大的绿色叶面积对籽粒产量的作用更大。本研究中,从玉米生育后期,各器官对籽粒的贡献率均表现为前茬小麦秸秆还田轮作玉米高于传统翻耕处理,尤其是前茬小麦 25 cm 高茬等量秸秆覆盖免耕(NTS)对籽粒产量的贡献率最大,说明小麦秸秆还田处理可促进各器官干物质向籽粒的转移,特别是覆盖免耕的作用最大。同时,传统耕作处理各器官对籽粒的贡献率最低,一是因为叶片的早衰(如 CT 处理),影响后期光合产物的形成,进而影响产量;二是可能由于植株体内养分不足(秸秆还田可增加土壤有机质含量^[14-15])和“源”与“库”关系不协调,最终表现为“源”向籽粒“库”转移光合产物较少,进而明显影响产量的提高;三是可能由于单一的地膜覆盖往往造成玉米根区极端高的土壤温度,特别是玉米吐丝开花至灌浆期,导致玉米根系早衰,影响产量^[16]。这一结果目前在国内外还未见报道,有待进一步探讨。

从热量平衡分析得知,由于秸秆覆盖减少了蒸发耗水,从而增大了土壤湿度^[17-18],另外,土壤含水量高低直接影响热量的传递。本研究中,前茬小麦秸秆还田可优化土壤温度、湿度^[19],达到优化轮作玉米的干物质分配规律,使得前茬小麦秸秆还田促进了后茬玉米各营养器官干物质向籽粒的运转;同时,提高了穗数、穗粒数、粒重等产量构成因素,特别是覆盖免耕处理的穗数明显高于其他处理,提高了玉米的双穗率,而传统耕作处理的穗数明显低于秸秆还田,其原因还需进一步研究。因而,前茬小麦秸秆还田提高了后茬玉米的籽粒产量,两年度高于传统处理 11.3%~17.5%,前茬小麦高茬收割免耕提高了收获指数,较传统耕作高 5.4%~8.4%,并且随着少耕轮作年限的延长,收获指数的提高作用更明显。

玉米干物质积累、分配及转移是由自身生理生化变化所决定,同时又受土壤营养状况的影响,个体干物质在各器官中积累与分配均随生长中心的转移而变化。本研究的轮作倒茬可优化土壤微生物种群结构、维持土壤微生物的多样性,给土壤提供较好的植物多样性,对其土壤酶活性有较好的影响,改变了玉米个体的营养状况,有利于玉米生长,从而使干物质的分配及转运量不同,其实质就是对玉米植株个体代谢强度的影响,但对“源”与“库”关系的影响还需进一步研究,是未来玉米栽培研究的重点方向之一。

4 结论

免耕小麦秸秆还田可优化轮作玉米干物质的积累与分配特性,提高玉米叶、茎、鞘对籽粒的贡献率,较传统耕作处理“源与库”关系更加协调。前茬小麦秸秆还田有利于后茬玉米产量和收获指数的提高,其中秸秆还田覆盖结合免耕(NTS)对后茬玉米的增产效果更高,其高产主要归因于穗粒数的提高。小麦秸秆还田轮作玉米是本试区玉米可持续生产的可行模式,其中前茬小麦秸秆覆盖结合免耕(NTS)可作为绿洲灌区优化后茬玉米干物质累积规律及获得高产的理想耕作措施。

References

- [1] 戴景瑞, 鄂立柱. 我国玉米育种科技创新问题的几点思考. 玉米科学, 2010, 18(1): 1-5
Dai J R, E L Z. Scientific and technological innovation of maize breeding in China. *Maize Sci*, 2010, 18(1): 1-5 (in Chinese with English abstract)
- [2] 卢秉林, 包兴国, 张久东, 胡志桥, 杨新强, 曹卫东, 杨文玉, 李全福. 河西绿洲灌区玉米与绿肥间作模式对作物产量和经济效益的影响. 中国土壤与肥料, 2014, (2): 67-71
Lu B L, Bao X G, Zhang J D, Hu Z Q, Yang X Q, Cao W D, Yang W Y, Li Q F. Effects of different intercropping systems of corn and green manure on crop yield and economic benefit in Hexi Oasis Irrigation. *China Soils Fert*, 2014, (2): 67-71 (in Chinese with English abstract)
- [3] Głab T, Ścigalska B, Labuz B. Effect of crop rotation on the root system morphology and productivity of triticale (\times Triticosecale Wittm.). *J Agric Sci*, 2014, 152: 642-654
- [4] Grandy A S, Porter G A, Erich M S. Organic amendment and rotation crop effects on the recovery of soil organic matter and aggregation in potato cropping systems. *Soil Sci Soc Am J*, 2002, 66: 1311-1319
- [5] 李明, 李文雄. 玉米产量形成与源库关系. 玉米科学, 2006, 14(2): 67-70
Li M, Li W X. Relationship between maize yield formation and source-sink. *Maize Sci*, 2006, 14(2): 67-70 (in Chinese with English abstract)
- [6] Monneveux P, Quillerou R, Sanchez I C, Lopez-Cesati J. Effect of zero tillage and residues conservation on continuous maize cropping in a subtropical environment. *Plant Soil*, 2006, 279: 95-105
- [7] Sun H Y, Shao L W, Liu X W, Miao W F, Chen S Y, Zhang X Y. Determination of water consumption and the water-saving potential of three mulching methods in a jujube orchard. *Eur J Agron*, 2012, 43: 87-95
- [8] 杨国虎, 李建生, 罗湘宁, 王承莲. 干旱条件下玉米叶面积变化及地上干物质积累与分配的研究. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2005, 33(5): 27-32
Yang G H, Li J S, Luo X N, Wang C L. Studies on leaf area change and above-ground dry material accumulation and distribution of maize in different droughts. *J Northwest A&F Univ*

- (Nat Sci Edn), 2005, 33(5): 27–32 (in Chinese with English abstract)
- [9] Bidinger F, Musgrave R, Fischer R. Contribution of stored pre-anthesis assimilate to grain yield in wheat and barley. *Nature*, 1977, 270: 431–433
- [10] 骆兰平, 于振文, 王东, 张永丽, 石玉. 土壤水分和种植密度对小麦旗叶光合性能和干物质积累与分配的影响. *作物学报*, 2011, 37: 1049–1059
Luo L P, Yu Z W, Wang D, Zhang Y L, Shi Y. Effects of planting density and soil moisture on flag leaf photosynthetic characteristics and dry matter accumulation and distribution in wheat. *Acta Agron Sin*, 2011, 37: 1049–1059 (in Chinese with English abstract)
- [11] 李青军, 张炎, 胡伟, 孟凤轩, 冯广平, 胡国智, 刘新兰. 氮肥运筹对玉米干物质积累、氮素吸收分配及产量的影响. *植物营养与肥料学报*, 2011, 17: 755–760
Li Q J, Zhang Y, Hu W, Meng F X, Feng G P, Hu G Z, Liu X L. Effects of nitrogen management on maize dry matter accumulation, nitrogen uptake and distribution and maize yield. *Plant Nutr Fert Sci*, 2011, 17: 755–760 (in Chinese with English abstract)
- [12] 农梦玲, 魏贵玉, 李伏生. 不同时期根区局部灌溉对玉米干物质积累和水氮利用的影响. *玉米科学*, 2012, 20(5): 115–120
Nong M L, Wei G Y, Li F S. Effect of partial root-zone irrigation at different growth stages on dry mass accumulation and water and nitrogen use of maize. *Maize Sci*, 2012, 20(5): 115–120 (in Chinese with English abstract)
- [13] 李利利, 张吉旺, 董树亭, 刘鹏, 赵斌, 杨今胜. 不同株高夏玉米品种同化物积累转运与分配特性. *作物学报*, 2012, 38: 1080–1087
Li L L, Zhang J W, Dong S T, Liu P, Zhao B, Yang J S. Characteristics of accumulation, transition and distribution of assimilate in summer maize varieties with different plant height. *Acta Agron Sin*, 2012, 38: 1080–1087 (in Chinese with English abstract)
- [14] Monneveux P, Quillerou E, Sanchez I C, Lopez-Cesati J. Effect of zero tillage and residues conservation on continuous maize cropping in a subtropical environment. *Plant Soil*, 2006, 279: 95–105
- [15] Roldan A, Carabaca F, Hernandez M T, Garcia C, Sanchez-Brito C, Velasquez M, Tiscareno M. No-tillage, crop residue additions and legume cover cropping effects on soil quality characteristics under maize in Patzcuaro watershed (Mexico). *Soil Till Res*, 2003, 72: 65–73
- [16] Sekhon N, Hira G, Sidhu A, Thind S. Response of soybean (*Glycine max* Mer.) to wheat straw mulching in different cropping seasons. *Soil Use Manage*, 2005, 21: 422–426
- [17] 李静静, 李从锋, 李连禄, 丁在松, 赵明. 苗带深松条件下秸秆覆盖对春玉米土壤水温及产量的影响. *作物学报*, 2014, 40: 1787–1796
Li J J, Li C F, Li L L, Ding Z S, Zhao M. Effect of straw mulching on soil temperature, soil moisture and spring maize yield under seedling strip subsoiling. *Acta Agron Sin*, 2014, 40: 1787–1796 (in Chinese with English abstract)
- [18] 朱自玺, 方文松, 赵国强, 邓天宏, 付祥军. 麦秸和残茬覆盖对夏玉米农田小气候的影响. *干旱地区农业研究*, 2000, 18(2): 19–24
Zhu Z X, Fang W S, Zhao G Q, Deng T H, Fu X J. Effects of straw and residue mulching on microclimate of summer corn field. *Agric Res Arid Areas*, 2000, 18(2): 19–24 (in Chinese with English abstract)
- [19] Chai Q, Yu J H, Yin W, Zhao C, Hu F L, Gan Y T. Integrated double-mulching practices optimizes soil temperature and improves soil water utilization in arid environments. In: Proceedings of the 5th International Symposium for Farming Systems Design. Montpellier, France: European Society for Agronomy, 2015. pp 31–32