

于 博,杨玉亭,任 琴,等. 秸秆还田对春玉米根冠特征及产量的影响[J]. 江苏农业科学,2023,51(1):85-91.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2023.01.012

# 秸秆还田对春玉米根冠特征及产量的影响

于 博,杨玉亭,任 琴,徐松鹤,周萌洋,刘梦琪,潘 瑜

(集宁师范学院,内蒙古乌兰察布 012000)

**摘要:**为解决内蒙古平原灌区春玉米大面积连续高产稳产的土壤培肥问题,本研究设置了连续 3 年的秸秆还田定位试验,春玉米收获后秸秆全量粉碎还田,秸秆年均还田量为  $16.027 \text{ t/hm}^2$ ,逐年形成秸秆还田 1~3 年的 3 个试验处理组(HT1、HT2、HT3)和秸秆不还田的 1 个对照组(CK),研究春玉米根冠指标和产量的变化规律及其相关关系,明确秸秆还田措施对春玉米增产的贡献。结果表明:(1)秸秆还田处理的春玉米产量相较于 CK 显著增加,秸秆还田 3 年后产量最高达  $13.754 \text{ t/hm}^2$ ,比 CK 显著增加 16.93%,穗数、穗粒数与 CK 相比也显著增加。(2)秸秆还田有效增加了春玉米的根长、根尖数及根系活力。(3)春玉米根系吸收营养物质的能力与叶片蔗糖含量以及地上部生物量之间呈显著正相关关系。(4)春玉米叶片蔗糖含量及地上部生物量的积累有助于春玉米各器官中营养物质的转运并对产量有显著影响。(5)秸秆还田处理年限( $X$ )与春玉米产量( $Y, \text{kg/hm}^2$ )的拟合关系为  $Y = 4.170X^3 + 0.331X + 11\,762.382$  ( $r^2 = 0.655$ ),秸秆还田对春玉米增产的平均贡献率为 13.55%。以上研究结果为春玉米根冠生理特性与空间分布特征及其对秸秆还田的响应机制提供了理论支撑,为春玉米高产农田定向培育提供了理论依据。

**关键词:**秸秆还田;春玉米;根系;冠层;产量;通径分析

**中图分类号:**S513.06 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2023)01-0085-06

我国玉米种植面积达 4 332 万  $\text{hm}^2$ ,产量达 2.725 5 亿 t(2021 年数据)<sup>[1]</sup>。玉米是内蒙古第一大作物,主要分布在西辽河、土默川、河套平原灌区,播种面积约 260 万  $\text{hm}^2$ ,占内蒙古粮食作物播种面积的 38.2%,总产稳定在 0.272 5 亿 t(2019 年数据),占内蒙古粮食总产的 79.9%。由于缺乏对高产农田土壤肥力特征及其形成过程和作用机制的认识,导致玉米难以大面积高产稳产。玉米秸秆当中含有丰富的氮(N)、磷(P)、钾(K)等营养元素,是很好的生物质能源。我国玉米秸秆还田比例为 17.6%,美国为 68%,英国为 73%<sup>[2]</sup>,韩国的玉米秸秆有 20% 还田,80% 用作饲料<sup>[3]</sup>,因此我国玉米秸秆还田研究尚有较大进步空间<sup>[4]</sup>。郑金玉等的研究表明,秸秆粉碎后全量还田能够促进作物干物质的积累及产量的提高,秸秆还田与普通耕作相比,产量可提高近 15%<sup>[5]</sup>。李亭亭的研究表明,秸秆深

翻还田后能够增加作物穗粒数和亩穗数,并且有助于最终产量的提高<sup>[6]</sup>。解文艳等的研究表明,秸秆覆盖还田处理能够增加玉米的百粒质量及亩穗数,有利于产量的提高<sup>[7]</sup>。秸秆还田与氮肥配合施用,能提高土地肥力,使玉米灌浆特性得到改善,玉米的百粒质量增加<sup>[8]</sup>。秸秆还田可以改善土壤条件,对农作物的生长发育、营养吸收、营养物质的积累及产量的增加有很大的促进作用<sup>[9]</sup>。秸秆还田能为玉米提供花后籽粒灌浆和干物质积累所必需的养分,实现产量的提高<sup>[10]</sup>。秸秆还田后添加氮肥可促进秸秆腐解,提高土壤微生物生物量和土壤中的氮含量,弥补秸秆腐解过程中土壤微生物对氮素的固持,从而保证氮素的供给<sup>[11]</sup>。内蒙古春玉米主产区农田土壤培肥要结合区域农业高质量发展政策<sup>[12]</sup>,以秸秆还田代替部分化学肥料的施用、调整有机肥(秸秆肥)与化学肥料的配施方式和配施结构,综合内蒙古平原灌区不同生态气候特点,深入研究春玉米高产田配方施肥的综合配套技术。内蒙古平原灌区农田土壤培肥应以秸秆还田为核心技术,同时加强中低产田改造及可持续利用,才能进一步提升耕地地力,提升玉米秸秆综合利用能力,减少亩均化肥用量,保证内蒙古粮食增产和绿色高质量发展<sup>[13]</sup>。本研究以此为切入点,在有机肥

收稿日期:2022-07-16

基金项目:内蒙古自治区自然科学基金(编号:2021BS03022);乌兰察布市基础科研项目(编号:2021JC201);集宁师范学院博士科研启动基金(编号:jsbsjj1710)。

作者简介:于 博(1986—),男,吉林白山人,博士,讲师,主要研究方向为土壤肥力调控与作物生理生态。E-mail: jnsyubho@126.com。

投入不足及化肥不合理施用的背景下,设计了秸秆连续还田定位试验,研究春玉米根冠指标和产量的变化规律及其相关关系,以明确秸秆还田措施对春玉米增产的贡献。研究成果对实现春玉米大面积高产具有指导意义,具有良好的应用前景,同时对保证内蒙古乃至全国粮食稳定增产和粮食安全都具有重要意义。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

本试验在集宁师范学院玉米试验田(113°7'14"E, 41°0'56"N)进行,试验区属典型的蒙古高原大陆性气候,具有昼夜温差大、无霜期短的特点,年平均无霜期达 114 d,年平均气温 4.3 ℃,年均日照 3 000 h,年平均风速 3.0 m/s,最大冻土深度为 1.9 m。供试土壤类型均为沙壤土,试验地 0~20 cm 耕层土壤有机质含量 13.40 g/kg、碱解氮含量 50.23 mg/kg、速效磷含量 11.82 mg/kg、速效钾含量 136.10 mg/kg,pH 值为 8.01。春玉米生育期(5 月 1 日至 9 月 30 日)平均降

水量为 384 mm,积温为 2 150 ℃。

1.2 试验设计

定位试验于 2019 年 5 月至 2021 年 10 月进行,玉米秸秆在收获后全量粉碎还田。自 2019 年起逐年形成秸秆还田 1~3 年 3 个试验处理(HT1、HT2、HT3),秸秆年均还田量为 15.877、15.701、16.504 t/hm<sup>2</sup>;以秸秆不还田作为对照(CK)。秸秆还田量按照 1.0:1.2 的籽粒-秸秆质量比计算,每个试验小区长 6 m、宽 5 m,小区面积为 30 m<sup>2</sup>,共计 12 个试验小区,随机区组排列。玉米品种为先玉 1619,种植密度为 7.5 万株/hm<sup>2</sup>,等行距 60 cm 种植。施肥量:按照内蒙古自治区地方标准 DB15/T 1088—2016《内蒙古平原灌区饲用玉米施肥技术规程》施肥,施肥量折算之后纯 N 465 kg/hm<sup>2</sup>、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 210 kg/hm<sup>2</sup>、K<sub>2</sub>O 202.5 kg/hm<sup>2</sup>。施肥方式:磷钾肥全部作基肥,氮肥以 3:6:1(质量比)分别用作基肥和追肥,追肥于拔节期与灌浆期前施用。灌水 4 次:拔节期 1 次、大喇叭口期 1 次、灌浆期 2 次。具体见表 1。

表 1 秸秆还田试验设计方案

处理	秸秆还田处理年份	施肥标准与方式	灌水频率
CK			
HT1	2021	按照内蒙古自治区地方标准 DB15/T 1088—2016《内蒙古平原灌区饲用玉米施肥技术》规程,磷钾肥全部作基肥,氮肥以 3:6:1(质量比)分别用作基肥和追肥,追肥于拔节期与灌浆期前施用	灌水 4 次:拔节期 1 次、大喇叭口期 1 次、灌浆期 2 次
HT2	2020、2021		
HT3	2019、2020、2021		

1.3 试验测定项目与方法

1.3.1 春玉米根系的测定 吐丝期,采用 1/2 株距×1/2 行距法,3 点取样,每 10 cm 为一层,取 0~60 cm 土层的春玉米根系,用 ESPON STD4800 Scanner 根系扫描仪对根系进行扫描,保存生成 TIF 格式的图片,用 WinRHIZOTM 软件分析总根长、根表面积和根尖数<sup>[14]</sup>。采用 α-萘胺氧化法测定根系活力<sup>[15]</sup>。

1.3.2 叶片 SPAD 值的测定 吐丝期,采用日本美能达公司的手持式 SPAD-502 型叶绿素计测定叶片 SPAD 值<sup>[16]</sup>。

1.3.3 叶片净光合速率的测定 吐丝期,采用美国 LI-COR 公司的 LI-6400 光合作用测量系统测定叶片的光合速率<sup>[17]</sup>。

1.3.4 叶片全氮和蔗糖含量的测定 吐丝期,采用凯氏定氮法测定叶片全氮含量;采用紫外分光光度法测定叶片蔗糖含量<sup>[18]</sup>。

1.3.5 产量和生物量的测定 收获期,每个试验小

区实测玉米产量和地上部生物量,取连续 20 个果穗,待风干后考种,测定穗周长、穗粒数、百粒质量(14%含水率)<sup>[14]</sup>。

1.4 数据处理与分析

采用 Excel 2019 和 SPSS 13.0 统计分析软件进行单因素方差分析、相关性分析和通径分析,采用最小显著差异(LSD)法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 秸秆还田对春玉米产量和产量构成及地上部生物量的影响

由表 2 可知,秸秆还田处理与 CK 相比穗周长、穗数、穗粒数、产量以及地上部生物量存在显著差异,百粒质量与 CK 间差异不显著。秸秆还田处理的穗周长比 CK 显著增加,穗周长表现为 HT2>HT3>HT1>CK,HT2 的穗周长最长,比 CK 增加 10.00%。穗数以 HT1 最大,比 CK 显著增加 4.83%,HT2、HT3 与 CK 差异不显著。穗粒数表现

为秸秆还田各处理与 CK 相比差异显著,秸秆还田各处理之间差异不显著。秸秆还田处理的春玉米产量比 CK 显著增加,HT1、HT2、HT3 处理分别增产 12.49%、11.23%、16.93%,秸秆还田处理对春玉米增产的平均贡献率为 13.55%。秸秆还田处理可以显著增加春玉米地上部生物量,各处理与 CK 间差异显著,HT1 的地上部生物量最大,比 CK 增加 23.67%。

表 2 秸秆还田对春玉米产量和产量构成及地上部生物量的影响

处理	穗周长 (cm)	穗数 (个/667m <sup>2</sup> )	穗粒数 (粒/穗)	百粒质量 (g)	产量 (t/hm <sup>2</sup> )	地上部生物量 (t/hm <sup>2</sup> )
CK	16.00±0.00b	4 903.00±66.27b	664.27±19.27b	24.09±0.84a	11.762±0.464b	3.062±0.045b
HT1	17.17±0.17a	5 139.68±52.34a	709.13±4.26a	24.21±0.72a	13.231±0.291a	3.787±0.132a
HT2	17.60±0.21a	5 072.33±20.28ab	713.67±7.13a	24.11±0.35a	13.084±0.300a	3.638±0.135a
HT3	17.40±0.40a	5 038.12±74.10ab	714.73±7.96a	25.46±0.44a	13.754±0.420a	3.537±0.107a

注:同列数据后不同小写字母表示处理间在 0.05 水平差异显著。表 3 至表 7 同。

2.2 秸秆还田对春玉米根长、根尖数、根表面积和根系活力的影响

由表 3 可知,秸秆还田对春玉米根长影响显著。秸秆还田处理的春玉米根长与 CK 之间差异显著,表现为秸秆还田各处理 0~10、20~30、40~50、50~60 cm 土层的根长与 CK 间差异显著。0~10、10~20、20~30、30~40、40~50 cm 土层,秸秆还田各处理间差异显著。

表 3 秸秆还田对春玉米根长的影响

处理	根长 (cm)						
	0~10 cm	10~20 cm	20~30 cm	30~40 cm	40~50 cm	50~60 cm	0~60 cm
CK	12 030.64±12.10b	5 145.06±4.18c	5 300.01±3.20c	3 635.49±7.02a	1 086.29±10.21d	608.19±7.82c	27 805.67±14.24d
HT1	13 731.49±18.50a	7 903.14±6.39a	7 839.14±12.92a	3 668.47±30.48a	3 621.38±12.14a	1 834.89±19.81a	38 598.51±55.36a
HT2	11 293.60±30.88c	5 117.51±23.52c	5 787.68±15.58b	3 269.29±13.48b	3 158.57±12.34b	1 579.78±7.68b	30 206.44±66.59b
HT3	10 505.86±16.51d	6 150.38±19.58b	5 211.95±6.76d	3 046.54±23.59c	3 023.87±11.83c	1 587.39±35.16b	29 525.98±18.33c

由表 4 可知,秸秆还田对春玉米根尖数影响显著。10~20、40~50、50~60 cm 土层,秸秆还田处理下各土层与 CK 差异显著,表现为 HT1、HT2 和 HT3 处理下的春玉米根尖数均显著高于 CK。0~10 cm 和 20~30 cm 土层,不同秸秆还田处理的玉米根尖数差异显著,表现为 HT1>HT2>HT3,随着秸秆还田年限的增加春玉米根尖数呈逐年降低的趋势。

表 4 秸秆还田对春玉米根尖数的影响

处理	根尖数 (个)						
	0~10 cm	10~20 cm	20~30 cm	30~40 cm	40~50 cm	50~60 cm	0~60 cm
CK	40 054.67±14.71b	14 366.00±23.86d	15 383.33±13.13c	9 238.67±20.28b	3 087.33±30.69d	2 107.33±20.67d	84 237.33±95.26d
HT1	45 950.67±28.10a	22 044.67±22.43a	19 718.67±62.36a	7 560.67±21.80c	7 805.33±9.40b	3 057.33±26.34c	106 137.33±147.48a
HT2	39 655.33±24.69c	20 184.00±30.62c	18 018.67±35.48b	7 428.00±49.76d	7 222.00±40.07c	4 005.33±16.83b	96 513.33±66.20b
HT3	35 106.67±25.41d	21 262.67±26.59b	15 020.00±16.37d	9 812.67±20.83a	8 154.67±24.88a	5 306.00±24.33a	94 662.67±88.85c

由表 5 可知,秸秆还田对春玉米根表面积影响显著。不同秸秆还田年限的春玉米根表面积与 CK 间差异显著,其中 0~10、20~30、50~60 cm 土层下秸秆还田各处理与 CK 差异显著。0~60 cm 土层,HT1 处理的根表面积相较于 CK 显著增加,HT2 和 HT3 处理下的根表面积与 CK 相比显著降低。

2.3 秸秆还田对春玉米叶片净光合速率、叶绿素相对含量、全氮和蔗糖含量的影响

由表 6 可知,秸秆还田对春玉米根系活力影响显著。HT2 和 HT3 处理的根系活力均显著高于 CK,HT1 处理与 CK 间差异不显著。秸秆还田各处理间表现为 HT2、HT3 处理与 HT1 处理间差异显著,HT2 与 HT3 处理间差异不显著,其中 HT3 处理的根系活力最高,即 HT3>HT2>HT1>CK。

由表 7 可知,秸秆还田处理对春玉米叶片的净光合速率无显著影响。叶片 SPAD 值表现为 HT1>HT2>HT3>CK,HT1 处理显著高于 CK,HT2 和 HT3 处理与 CK 相比差异不显著,且 HT1 处理的 SPAD

表 5 秸秆还田对春玉米根表面积的影响

处理	根表面积( cm <sup>2</sup> )						
	0 ~ 10 cm	10 ~ 20 cm	20 ~ 30 cm	30 ~ 40 cm	40 ~ 50 cm	50 ~ 60 cm	0 ~ 60 cm
CK	2 746.24 ± 27.21a	914.90 ± 9.83b	1 017.64 ± 11.63c	705.43 ± 11.32a	309.05 ± 12.69b	100.26 ± 8.37c	5 793.53 ± 34.12b
HT1	2 504.20 ± 26.33b	1 414.82 ± 7.66a	1 406.99 ± 7.39a	706.59 ± 7.39a	569.15 ± 12.63a	283.33 ± 8.16a	6 885.06 ± 67.45a
HT2	2 209.35 ± 55.69c	877.23 ± 58.11b	1 106.12 ± 27.5b	719.36 ± 12.62a	320.41 ± 7.56b	243.85 ± 27.48ab	5 476.32 ± 39.65c
HT3	2 210.31 ± 7.88c	828.23 ± 8.55b	1 102.03 ± 5.07b	716.60 ± 7.47a	310.44 ± 9.93b	210.27 ± 7.61b	5 377.87 ± 21.92c

表 6 秸秆还田对根系活力的影响

处理	α - 萘胺生物氧化强度 [ μg/(g · h) ]
CK	8.10 ± 0.04b
HT1	8.48 ± 0.12b
HT2	9.30 ± 0.18a
HT3	9.57 ± 0.12a

值最高,比 CK 增加 6.31%,秸秆还田各处理间差异不显著。秸秆还田处理下的春玉米叶片全氮含量显著高于 CK,表现为 HT3 > HT1 > HT2 > CK,HT1 与 HT2 处理差异不显著。秸秆还田显著增加了春玉米叶片的蔗糖含量,表现为 HT1 > HT3 > HT2 > CK,HT1、HT2 和 HT3 处理的蔗糖含量显著高于 CK,HT1 处理的叶片蔗糖含量最大,比 CK 增加 41.19%。

表 7 秸秆还田对春玉米叶片净光合速率、叶绿素相对含量、全氮和蔗糖含量的影响

处理	净光合速率 [ μmol/(m <sup>2</sup> · s) ]	SPAD 值	叶片全氮含量 (mg/g)	叶片蔗糖含量 (mg/g)
CK	27.23 ± 2.51a	60.36 ± 0.25b	1.97 ± 0.03c	14.81 ± 0.22b
HT1	34.83 ± 5.09a	64.17 ± 1.18a	2.40 ± 0.04b	20.91 ± 0.13a
HT2	29.73 ± 3.53a	63.21 ± 1.18ab	2.36 ± 0.02b	20.60 ± 0.20a
HT3	25.40 ± 1.57a	62.21 ± 0.91ab	2.50 ± 0.02a	20.61 ± 0.13a

2.4 秸秆还田处理年限与春玉米产量的拟合关系

如表 8 所示,通过 4 种不同拟合模型探究了秸秆还田处理年限(X)与春玉米产量(Y, kg/hm<sup>2</sup>)之间的曲线拟合关系,结果显示,拟合决定系数表现为三次曲线 > 二次曲线 > 线性 > 指数。回归分析

结果表明,4 种拟合模型的决定系数表现为三次曲线最大,指数拟合关系的决定系数最小。基于曲线拟合和回归分析,可知三次曲线模型  $Y = 4.170X^3 + 0.331X + 11\,762.382$  能较好地拟合秸秆还田年限与春玉米产量之间的关系。

表 8 秸秆还田处理年限与春玉米产量的回归分析

拟合方式	回归模型	r <sup>2</sup>	F 值	P 值
线性	$Y = 0.051X + 12\,215.770$	0.479	9.183	0.013
二次曲线	$Y = -2.121X^2 + 0.124X + 11\,920.729$	0.562	5.773	0.024
三次曲线	$Y = 4.170X^3 + 0.331X + 11\,762.382$	0.655	5.068	0.030
指数	$Y = 12\,194.031e^{3 \times 10^{-6}X}$	0.473	8.978	0.013

2.5 春玉米产量与根冠生理特性之间的相关性分析

由表 9 和表 10 可知,春玉米根尖数、根系活力与春玉米产量之间存在显著正相关;春玉米叶片净合速率、叶片 SPAD 值及叶片蔗糖含量与根长存在显著正相关关系;春玉米的根表面积、叶片全氮含量与根尖数之间均存在显著正相关关系;春玉米根系活力与根表面积之间呈现显著负相关关系;春玉米叶片蔗糖含量与叶片 SPAD 值之间存在显著正相关关系。春玉米叶片全氮含量、叶片蔗糖含量与产

量之间呈极显著正相关关系;春玉米根尖数、根表面积与根长之间呈极显著正相关关系;春玉米叶片 SPAD 值、叶片蔗糖含量与根尖数之间存在极显著正相关关系;春玉米叶片全氮含量、蔗糖含量与根系活力间存在极显著正相关关系;春玉米叶片 SPAD 值与净光合速率之间呈现极显著正相关关系;春玉米叶片全氮含量同叶片蔗糖含量之间呈现出极显著正相关关系。

2.6 春玉米产量与根冠生理指标间的通径分析

如表 11 所示,在春玉米根冠 8 个指标(自变

表 9 春玉米产量与根冠生理特性的相关性分析结果

指标	相关系数								
	产量	根长	根尖数	根表面积	根系活力	净光合速率	SPAD 值	叶片全氮含量	叶片蔗糖含量
产量	1.000	0.307	0.566 *	-0.054	0.570 *	0.074	0.483	0.837 **	0.770 **
根长		1.000	0.906 **	0.892 **	-0.180	0.549 *	0.604 *	0.223	0.555 *
根尖数			1.000	0.623 *	0.223	0.468	0.712 **	0.578 *	0.850 **
根表面积				1.000	-0.571 *	0.499	0.362	-0.197	0.126
根系活力					1.000	-0.182	0.199	0.865 **	0.673 **
净光合速率						1.000	0.810 **	-0.036	0.241
SPAD 值							1.000	0.442	0.653 *
叶片全氮含量								1.000	0.885 **
叶片蔗糖含量									1.000

注：\*、\*\* 分别表示指标间在 0.05、0.01 水平上达到显著、极显著相关。

表 10 春玉米产量与根冠生理指标的差异性分析结果

指标	sig 值							
	根长	根尖数	根表面积	根系活力	净光合速率	SPAD 值	叶片全氮含量	叶片蔗糖含量
产量	0.166	0.028	0.434	0.027	0.410	0.056	0.000	0.002
根长		0.000	0.000	0.287	0.032	0.019	0.243	0.031
根尖数			0.015	0.243	0.062	0.005	0.025	0.000
根表面积				0.026	0.049	0.124	0.270	0.348
根系活力					0.285	0.268	0.000	0.008
净光合速率						0.001	0.456	0.225
SPAD 值							0.075	0.011
叶片全氮含量								0.000

表 11 春玉米产量与根冠生理指标的通径分析结果

自变量	与产量的简单相关系数	通径系数	间接通径系数								
			根长	根尖数	根表面积	根系活力	净光合速率	SPAD 值	叶片全氮含量	叶片蔗糖含量	合计
根长	0.307	3.147		-0.520	-2.567	-1.642	0.096	-0.088	0.442	-0.467	-4.745
根尖数	0.566	-0.574	2.851		-1.793	-0.326	0.082	-0.103	1.145	-0.715	1.142
根表面积	-0.054	-2.878	2.807	-0.358		0.835	0.088	-0.052	-0.390	-0.106	2.824
根系活力	0.570	-1.462	-0.567	-0.128	1.643		-0.032	-0.029	1.714	-0.566	2.036
净光合速率	0.074	0.175	1.728	-0.315	-1.436	0.266		-0.117	-0.071	-0.203	-0.149
SPAD 值	0.483	-0.145	1.901	-0.409	-1.042	-0.291	0.142		0.876	-0.549	0.628
叶片全氮含量	0.837	1.981	0.702	-0.332	0.567	-1.265	-0.006	-0.064		-0.745	-1.143
叶片蔗糖含量	0.770	-0.841	2.423	-0.488	-0.363	-0.984	0.042	-0.095	1.753		2.290

量)对春玉米产量(因变量)的直接影响中,根长对产量的作用最大,其次是叶片全氮含量,对产量作用最小的是根表面积。通过对各间接通径系数分析可知,根尖数通过根长对春玉米产量的间接作用最大,其间接通径系数为 2.851,根表面积、根系活力、叶片 SPAD 值以及叶片蔗糖含量通过根尖数对产量产生了负的间接作用,但除此之外的其他自变

量对产量的间接作用均为正值,导致根尖数对产量的影响较大,二者相关系数为 0.566。各自变量与产量之间的简单相关系数表现为叶片全氮含量 > 叶片蔗糖含量 > 根系活力 > 根尖数 > 叶片 SPAD 值 > 根长 > 净光合速率 > 根表面积。因此,叶片全氮含量、叶片蔗糖含量、根系活力、根尖数、叶片 SPAD 值和根长对春玉米产量的增加具有重要作用,而净

光合速率及根表面积对产量的增加作用不大。

### 3 讨论

张姍等的研究表明,相同施氮水平情况下,秸秆还田与普通耕作相比能够显著增加作物的穗粒数,实现增产的目的<sup>[19]</sup>。陈金等的研究表明,秸秆还田与普通耕作相比能够显著降低作物亩穗数,但能够提高作物的千粒质量,最终也能够使作物增产<sup>[20]</sup>。本研究中秸秆还田处理与 CK 相比显著增加了春玉米的穗周长、穗数和穗粒数,但百粒质量并没有显著增加。作物产量的提高依赖于干物质生产量和积累量,秸秆还田处理能够促进根系营养物质的吸收和利用,进而增加作物干物质积累和产量提高<sup>[21]</sup>。本研究中秸秆还田处理后地上部生物量及蔗糖含量显著增高,地上部生物量随秸秆还田年限的增加而降低,叶片蔗糖含量呈现先增高后降低的趋势,这表明秸秆还田过多可能影响根系吸收养分的同时也对地上部干物质积累产生一定的影响。叶片是光合作用的主要场所,根是营养物质供给的部位<sup>[22]</sup>,根系发达和较高的活力是春玉米实现高产的重要影响因素。秸秆还田能够有效改善土壤肥力状况<sup>[23]</sup>,本研究表明秸秆还田能够促进春玉米根系吸收养分的能力,提高春玉米的根系活力,保障地上部光合所需的物质供给,促进光合产物的形成、积累与转运。本研究发现,随着秸秆还田年限的增加,春玉米根长等形态指标呈现出下降的趋势,原因可能是过多的秸秆腐解过程中需要大量的氮素,与作物产生争氮现象。玉米产量不仅取决于充足的养分供给,更重要的是光合产物的积累。秸秆还田配施氮肥条件下能够有效提高玉米光合色素含量以及光合能力<sup>[24]</sup>。张向前等研究认为,玉米的光合性状在不同方式的秸秆施用下均有所改善,但随着秸秆覆盖量的不断增加,对光和特性的改善效果逐渐降低<sup>[25]</sup>,本研究结果与之一致,随着秸秆还田年限的增加,春玉米叶片的叶绿素含量和净光合速率呈降低趋势。

### 4 结论

秸秆还田有效增加春玉米的根长、根尖数以及根系活力,增强了春玉米根系吸收养分并向地上部输送的能力,提供了充足的营养物质供地上部生长所需。根系吸收营养物质的能力与叶片蔗糖含量以及地上部生物量之间呈显著正相关关系,增强了

春玉米叶片储存营养物质的能力。春玉米叶片蔗糖含量及地上部生物量的积累有助于春玉米各器官中营养物质的转运并对产量产生显著影响。春玉米产量随着秸秆还田年限的增加而增加,秸秆还田处理年限( $X$ )与春玉米产量( $Y$ , kg/hm<sup>2</sup>)的拟合关系为  $Y = 4.170X^3 + 0.331X + 11\ 762.382$  ( $r^2 = 0.655$ ),秸秆还田对春玉米增产的平均贡献率为 13.55%。

### 参考文献:

- [1] 国家统计局. 中华人民共和国 2021 年国民经济和社会发展统计公报[J]. 中国统计, 2022(3): 9–26.
- [2] Huang R, Liu J, He X H, et al. Reduced mineral fertilization coupled with straw return in field mesocosm vegetable cultivation helps to coordinate greenhouse gas emissions and vegetable production[J]. Journal of Soils and Sediments, 2020, 20(4): 1834–1845.
- [3] 周应恒, 张晓恒, 严斌剑. 韩国秸秆焚烧与牛肉短缺问题解困探究[J]. 世界农业, 2015(4): 152–154.
- [4] Lu X L, Lu X N. Tillage and crop residue effects on the energy consumption, input–output costs and greenhouse gas emissions of maize crops[J]. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 2017, 108(3): 323–337.
- [5] 郑金玉, 刘武仁, 罗洋, 等. 秸秆还田对玉米生长发育及产量的影响[J]. 吉林农业科学, 2014, 39(2): 42–46.
- [6] 李亭亭. 不同耕作及秸秆还田方式对春玉米产量形成及养分吸收的影响[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2013.
- [7] 解文艳, 樊贵盛, 周怀平, 等. 秸秆还田方式对旱地玉米产量和水分利用效率的影响[J]. 农业机械学报, 2011, 42(11): 60–67.
- [8] Bolaños J. Physiological bases for yield differences in selected maize cultivars from Central America[J]. Field Crops Research, 1995, 42(2/3): 69–80.
- [9] 刘小娥, 苏世平, 吴玉山, 等. 地膜覆盖和秸秆还田对半干旱区玉米地土壤氮素矿化的影响[J]. 甘肃农业大学学报, 2019, 54(4): 30–36.
- [10] 隋鹏祥, 有德宝, 安俊朋, 等. 秸秆还田方式与施氮量对春玉米产量及干物质和氮素积累、转运的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2018, 24(2): 316–324.
- [11] Khan R, Farooque A A, Brown H C P, et al. The role of cover crop types and residue incorporation in improving soil chemical properties[J]. Agronomy, 2021, 11(10): 2091–2102.
- [12] 内蒙古自治区人民政府办公厅. 内蒙古自治区人民政府办公厅关于印发《农业高质量发展三年行动方案(2020 年—2022 年)》的通知[EB/OL]. (2020–12–17)[2022–07–16]. [https://www.nmg.gov.cn/zwgk/zfgh/2020n/202023/202012/t20201217\\_366987.html](https://www.nmg.gov.cn/zwgk/zfgh/2020n/202023/202012/t20201217_366987.html).
- [13] 于博, 徐松鹤, 任琴, 等. 秸秆还田研究进展及内蒙古玉米秸秆深翻还田现状[J]. 作物杂志, 2022(2): 6–15.
- [14] 于博. 春玉米高产田土壤结构及深翻秸秆还田调控机制[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2016.
- [15] 樊明宪. 测定水稻根系氧化力的一种新方法[J]. 湖南农学院学报, 1982, 8(2): 102.

吴 思,陶明德,周迎鑫,等. 化控对夏玉米产量与茎秆抗倒伏性状的影响[J]. 江苏农业科学,2023,51(1):91-98.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2023.01.013

# 化控对夏玉米产量与茎秆抗倒伏性状的影响

吴 思,陶明德,周迎鑫,罗 薇,陈平平,周文新,易镇邪

(湖南农业大学农学院/南方粮油作物协同创新中心,湖南长沙 410128)

**摘要:**为明确湖南省洞庭湖区夏玉米最佳化控方式,以郑单 958 为材料,在高密度(90000 株/hm<sup>2</sup>)条件下,比较研究化控剂种类(胺鲜·乙烯利,V1;国光抑灵,V2)、喷施部位(全株喷施,P1;叶片喷施,P2)、喷施时期(6 叶展,C1;12 叶展,C2;6 叶展+12 叶展,C3)对夏玉米产量构成与抗倒性的影响及其互作效应。研究结果表明,3 因素中,仅喷施时期对产量有显著影响,产量呈现 C1>C2>C3 趋势,其中 C1 处理高于对照,C3 处理显著低于 C1 和对照;化控剂种类与喷施时期互作、3 因素互作对产量影响显著,C1V2P2、C2V2P2 处理对提升干物质积累与产量的效果较好;各化控处理均能显著降低株高和穗位高,降幅表现 C3>C2>C1、P2>P1、V1>V2 趋势,其中 C2、C3 处理较 CK 下降显著;茎粗表现为 V1>V2、C2>C1>C3 趋势,3 因素互作对茎粗影响显著,吐丝期与成熟期茎粗整体以 C2V1P1、C2V1P2 处理较大;各化控处理均能显著提高成熟期茎秆压断强度,C2V1P1 与 C2V2P2 处理茎秆压断强度较大;喷施部位、喷施时期、化控剂种类与喷施部位互作对茎秆抗折力影响显著,抗折力以 C2 处理较大;相关分析结果表明,化学调控主要通过影响穗粒数影响夏玉米产量,株高与干物质积累量和实际产量呈极显著正相关。综合考虑产量与抗倒性,本研究认为 6 叶展期叶面喷施国光抑灵(C1V2P2)与 12 叶展期叶面喷施国光抑灵(C2V2P2)是湖南省洞庭湖区夏玉米的适宜化控方式。

**关键词:**夏玉米;化学调控;产量形成;抗倒性

**中图分类号:**S513.01;S513.04

**文献标志码:**A

**文章编号:**1002-1302(2023)01-0091-08

玉米是我国第一大粮食作物,其高产稳产对保

障我国的粮食安全具有重要意义<sup>[1]</sup>。获得作物增产,不仅要选用优良品种,还依赖于合理的栽培技术<sup>[2]</sup>。增加玉米种植密度,提高光温资源利用率,依靠群体发挥增产潜力是实现玉米高产的重要措施<sup>[3]</sup>。研究表明,增加种植密度能够显著增大玉米群体叶面积,有效提高光能截获率,实现玉米高产<sup>[4]</sup>,但随着玉米种植密度增加,超过一定限度后,会造成玉米群体田间荫蔽,生长空间不足和植株个体间光热资源竞争加剧,严重抑制玉米植株单株的生长发育,空秆、倒伏情况增加,从而影响单位面积

收稿日期:2022-02-17

基金项目:国家重点研发计划重点专项(编号:2016YFD0300308-01)。

作者简介:吴 思(1996—),女,重庆人,硕士研究生,主要从事作物高产高效栽培理论与技术研究。E-mail:747684627@qq.com。

通信作者:周文新,博士,教授,主要从事作物高产生理与资源高效利用研究,E-mail:zwxok@hunau.net;易镇邪,博士,教授,博士生导师,主要从事作物高产生理与资源高效利用研究,E-mail:yizhenxie@126.com。

[16]彭滢茹,周 锋,何晓波,等. 间混作豆科牧草对青贮玉米产量及氮肥利用的影响[J]. 江苏农业科学,2022,50(12):180-188.

[17]王修兰,徐师华,李佑祥. 植物群体光合速率测定装置与方法[J]. 农业工程学报,1993,9(4):62-66.

[18]占达东. 紫外分光光度法测定蔗糖含量[J]. 理化检验-化学分册,2005,41(5):363,365.

[19]张 姗,石祖梁,杨四军,等. 施氮和秸秆还田对晚播小麦养分平衡和产量的影响[J]. 应用生态学报,2015,26(9):2714-2720.

[20]陈 金,唐玉海,尹燕桦,等. 秸秆还田条件下适量施氮对冬小麦氮素利用及产量的影响[J]. 作物学报,2015,41(1):160-167.

[21]张宇飞. 耕作方式与秸秆还田对玉米产量及养分吸收的影响

[D]. 哈尔滨:东北农业大学,2019.

[22]黄润东. 减少叶源对密植夏玉米产量及生理特性的影响[D]. 泰安:山东农业大学,2017.

[23]王擎运,杨远照,徐明岗,等. 长期秸秆还田对砂姜黑土矿质复合态有机质稳定性的影响[J]. 土壤学报,2019,56(5):1108-1117.

[24]白 伟,张立祯,逢焕成,等. 秸秆还田配施氮肥对东北春玉米光合性能和产量的影响[J]. 作物学报,2017,43(12):1845-1855.

[25]张向前,黄国勤,赵其国. 间作条件下秸秆覆盖对玉米叶片光合特性和产量的影响[J]. 中国生态农业学报,2014,22(4):414-421.