

叶面喷锌对不同基因型夏玉米 子粒产量及品质的影响

张盼盼¹, 乔江方¹, 侯传伟², 张美微¹, 杨铭波², 韩琳琳², 李川¹, 范艳萍¹

(1. 河南省农业科学院粮食作物研究所, 郑州 450002; 2. 河南秋乐种业科技股份有限公司, 郑州 450002)

摘要: 研究拔节期和大喇叭口期 1:1 叶面喷施 4.5 kg/hm² ZnSO₄ 对 10 个夏玉米主栽品种植株子粒产量和品质的影响。结果表明, 与不施锌相比, 叶面喷锌平均提高夏玉米子粒产量、总淀粉和直链淀粉含量 7.5%、1.8% 和 5.7%, 降低支链淀粉、粗蛋白和粗脂肪含量 2.3%、1.1% 和 2.6%。裕丰 303 产量最高, 为 10.27 t/hm²; 谷神玉 66、德单 5 号和伟科 702 的总淀粉、直链和支链淀粉含量最高, 分别达 74.22%、33.21% 和 75.70%; 粗蛋白含量以先玉 335 和秋乐 618 表现最高, 为 9.54%; 粗脂肪和粗纤维分别以德单 5 号和裕丰 303 最高, 为 3.78% 和 2.63%。与不施锌相比, 叶面喷锌条件下登海 605、迪卡 653、先玉 335、秋乐 618、裕丰 303、郑单 958 和谷神玉 66 产量分别提高 11.2%、7.2%、9.0%、7.9%、7.4%、17.7% 和 21.2%, 伟科 702、裕丰 303 和德单 5 号总淀粉含量分别提高 5.4%、7.2% 和 6.4%, 隆平 638 和裕丰 303 支链淀粉含量分别提高 5.6% 和 9.1%。综合考虑, 拔节期和大喇叭口期 1:1 叶面喷施锌肥 4.5 kg/hm², 能显著提高裕丰 303 的产量和淀粉及其支链淀粉含量, 改善其品质特性。

关键词: 夏玉米; 叶面喷锌; 子粒产量; 子粒品质

中图分类号: S513.062

文献标识码: A

Effect of Foliar Zinc Application on the Grain Yield and Quality of Different Genotypes of Summer Maize

ZHANG Pan-pan¹, QIAO Jiang-fang¹, HOU Chuan-wei², ZHANG Mei-wei¹, YANG Ming-bo²,

HAN Lin-lin², LI Chuan¹, FAN Yan-ping¹

(1. Cereal Crops Institute, Henan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450002;

2. Henan Qiule Seeds Technology, Co., Ltd., Zhengzhou 450002, China)

Abstract: The effects of foliar zinc(Zn) 1:1 at jointing and flare opening stage(4.5 kg/ha ZnSO₄·7H₂O) on the grain yield and quality of 10 summer maize varieties were studied. The result indicated that compared with no Zn application, foliar Zn could increase grain yield, total starch and amylose content by 7.5%, 1.8% and 5.7%, but decrease amylopectin, crude protein and fat content by 2.3%, 1.1% and 2.6%, respectively. Among 10 genotypes, the highest grain yield was obtained in YF303 by 10.27 t/ha, and the highest total starch, amylose and amylopectin were found in the GSY66, DD5H and WK702 by 74.22%, 33.21% and 75.70%, respectively. The highest crude protein, fat and fibre obtained on XY335 and QL618, DD5H and YF303 by 9.54%, 3.78% and 2.63%, respectively. Foliar Zn treatment significantly increased grain yield of DH605, DK653, XY335, QL618, YF303, ZD958 and GSY66 by 11.2%, 7.2%, 9.0%, 7.9%, 7.4%, 17.7% and 21.2%, total starch content of WK702, YF303 and DD5H by 5.4%, 7.2% and 6.4%, amylopectin content of LP638 and YF303 by 5.6% and 9.1%, respectively. By comprehensive consideration, foliar ZnSO₄·7H₂O 4.5 kg/ha 1:1 at jointing and flare opening stage could significantly increase YF303 grain yield and total starch and amylopectin content, improve its grain quality.

Key words: Summer maize; Foliar Zn; Grain yield; Grain quality

录用日期: 2024-05-08

基金项目: 国家重点研发计划项目(2022YFD2300805)、河南省农业科学院自主创新项目(2024ZC010)、河南省重点研发与推广专项(222102110167)、河南省农业科学院优秀青年科技基金项目(2022YQ03)

作者简介: 张盼盼(1987-), 女, 博士, 主要从事玉米氮素营养管理研究。E-mail: zhangpan1602@163.com

乔江方为本文通信作者。E-mail: qiaojf@126.com

锌是人体必需的微量营养元素,对人体健康至关重要。缺锌会影响人体生长发育、降低身体抵抗力和耐受氧化胁迫的能力,严重危害人体健康。全世界几乎一半人口受到缺锌的困扰^[1-2]。在许多以谷物为主的发展中国家,粮食作物可食部分中锌含量普遍较低,不能满足人体需求。在我国,缺锌土壤面积占总耕地面积的51.5%,导致农田生态系统中锌的缺乏^[3]。因此,在生产中通常通过向土壤施用或者向叶面喷施锌肥来补充作物中的锌素^[4-6]。土壤施锌存在施用不均、易受土壤固定降低有效性、植株吸收效率低等问题,叶面喷施是一种简单易行、效率较高的补锌方式^[7-9]。因此,在我国缺锌或潜在缺锌土壤上,叶面喷施锌肥对于提高作物锌含量、子粒锌有效性和保障人体健康有着重要作用。

研究表明,在我国北方石灰性土壤上,土壤pH值较高,极易出现土壤缺锌现象,主要粮食作物小麦和玉米在缺锌条件下的产量会明显下降,补施锌肥则能促进作物生长^[10],提高作物干物质累积和养分吸收^[11-13],进而提高作物产量^[14-15]。锌素经过木质部和韧皮部运输后,在作物可食部分进行富集。锌在植株体内的分配与作物种类、土壤条件、气候以及施肥情况等密切相关^[16-17]。叶面喷施锌肥可促进植物对锌的吸收和累积,促进锌向子粒的转移,提高作物子粒中锌含量和生物有效性^[18]。

黄淮海夏玉米区是我国重要的玉米生产区域,其产量约占全国总产的三分之一,对我国玉米产业发展和保障我国粮食安全有着重要的影响。目前,黄淮海地区关于叶面喷施锌肥的研究多集中于锌肥对玉米植株生长发育、矿质元素、干物质的吸收和累积转运、子粒产量的影响等方面,对于施锌条件下玉米子粒淀粉、蛋白质等品质指标的变化以及子粒产量和品质的协同变化规律还不明确。本研究以黄淮海区域主栽的10个基因型夏玉米为研究对象,设置不同的叶面喷锌处理,研究喷施锌肥对不同基因型夏玉米子粒产量、淀粉及其组分、粗蛋白、粗脂肪和粗纤维含量的影响,讨论夏玉米子粒品质指标对叶面喷锌的响应,为夏玉米子粒产量和品质协同提升提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 试验地点

大田试验设置在河南省周口市西华县农业科学研究所试验基地(33°45'44" N, 114°26'49" E)。供试土壤为黄褐土,玉米播种前取0~30 cm的土壤基础样品,其基本化学性质为全氮1.403 g/kg,碱解氮

87.4 mg/kg,速效磷20.3 mg/kg,速效钾254.0 mg/kg,有机质20.6 g/kg,pH值8.42,DTPA-Zn 0.62 mg/kg。

1.2 试验设计及试验材料

试验采用裂区设计,主因素为叶面喷锌处理,分别为不喷锌、拔节期和大喇叭口期1:1喷锌两个处理,设定为Zn0和Zn1处理,其中Zn1处理为前期筛选处理的最佳喷锌处理^[19]。副因素为黄淮海种植面积较大的10个玉米基因型,分别为登海605、迪卡653、先玉335、秋乐618、伟科702、隆平638、裕丰303、德单5号、郑单958和谷神玉66(P1~P10),共20个处理,每个处理3次重复,6行区,行间距60 cm,行长5 m,种植密度67 500株/hm²。

固体肥料为28-6-6的长效控释复合肥,施用量为600 kg/hm²,于玉米稳苗后进行开沟一次性机施。锌肥为ZnSO₄·7H₂O(化学分析纯),施用量为4.5 kg/hm²,分别在拔节期和大喇叭口期按1:1比例0.3%(w/v)叶面喷施,对照为喷施相同的蒸馏水,时间选择在晴天的下午或傍晚,以保证喷施效果。其他管理措施与当地大田生产水平保持一致。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 产量

取小区中间两行玉米全部收获,随机选取15穗进行考种,晒干脱粒,测定含水量和子粒重量,并折合含水率(14%)计算产量。

1.3.2 淀粉含量

将测产后的子粒样品,采用双波长法测定总淀粉、直链和支链淀粉含量^[20]。

1.3.3 粗蛋白、粗纤维和粗脂肪含量

将测产后的子粒样品,分别采用双缩脲试剂法和索氏提取器法测定粗蛋白和粗脂肪含量^[21],利用ANKOM2000i全自动纤维分析仪测定粗纤维含量。

1.4 数据处理与分析

试验数据采用Excel 2010和SPSS 22软件进行统计与分析,利用LSD法和Duncan's进行方差分析和多重比较($P<0.05$)。

2 结果与分析

2.1 叶面喷锌对不同基因型夏玉米子粒产量的影响

表1为不同基因型夏玉米在两个叶面喷锌处理下的子粒产量变化。从表1中可以看出,本试验条件下,夏玉米子粒产量平均为8.43 t/hm²,Zn0处理下夏玉米子粒产量为8.12 t/hm²,Zn1处理较Zn0处理提高7.5%。各品种表现,P7最高,平均为10.27 t/hm²;其次是P4、P6和P8,平均为9.26 t/hm²;以P10最低,

平均为 6.52 t/hm²。与 Zn0 处理相比,Zn1 处理下 P10、P9、P1、P3、P4、P7 和 P2 的子粒产量分别显著提高 21.2%、17.7%、11.2%、9.0%、7.9%、7.4%和 7.2%。Zn0 处理下,各基因型以 P7 产量最高,为 9.90 t/hm²;其次是 P6、P4 和 P8,平均为 9.13 t/hm²。Zn1 处理下,以 P7 最高,为 10.63 t/hm²,P4 与 P7 无显著差异;其次是 P8 和 P6,平均为 9.11 t/hm²。

表 1 叶面喷锌处理下不同基因型夏玉米子粒产量变化
Table 1 The variation of grain yield of different summer maize genotypes under the foliar Zn treatment t/hm²

基因型 Genotype	Zn0	Zn1	平 均 Mean
P1	8.07±0.59 c	8.97±0.21 cd**	8.52±0.03 c
P2	8.21±0.14 c	8.80±0.32 cd*	8.51±0.37 c
P3	6.97±0.27 d	7.60±0.46 ef*	7.28±0.07 d
P4	9.20±0.02 b	9.92±0.90 ab*	9.56±0.29 b
P5	7.83±0.62 c	7.83±0.18 ef	7.83±0.04 d
P6	9.26±0.19 b	9.09±0.18 bc	9.18±0.05 bc
P7	9.90±0.14 a	10.63±0.86 a*	10.27±0.69 a
P8	8.93±0.14 b	9.12±0.10 bc	9.03±0.31 bc
P9	6.97±0.51 d	8.20±0.55 de**	7.58±0.15 d
P10	5.90±0.33 e	7.15±0.26 f**	6.52±0.07 e
平 均	8.12±1.24	8.73±1.11**	8.43±1.29

注:不同小写字母表示同一喷锌处理不同品种间差异显著($P<0.05$);“*”、“**”分别表示同一品种不同喷锌处理间差异显著和极显著($P<0.05$, $P<0.01$)。
Note: The different lowercase letters mean significant difference($P<0.05$) among different type under the same foliar Zn treatment. * and ** mean significant and extremely significant difference($P<0.05$ and $P<0.01$) between different foliar Zn treatments under the same type.

2.2 叶面喷锌对不同基因型夏玉米子粒总淀粉及其组分含量的影响

表 2 不同锌处理和基因型对夏玉米子粒总淀粉和直链、支链淀粉含量的影响
Table 2 Effect of different Zn treatments and genotypes on the total starch, amylose and amylopectin content of summer maize %

项 目 Item	处 理 Treatment	总淀粉含量 Total starch content	直链淀粉含量 Amylose content	支链淀粉含量 Amylopectin content
Zn	Zn0	71.09±2.25	29.17±3.93	70.83±3.93
	Zn1	72.39±2.33	30.83±4.65	69.17±4.65
P	P1	73.20±1.4 bc	26.56±2.16 de	73.44±2.16 ab
	P2	72.69±0.78 c	28.89±2.34 cd	71.11±2.34 bc
	P3	72.84±0.8 bc	32.34±7.95 ab	67.66±7.95 a
	P4	70.87±1.31 de	28.84±4.37 cd	71.16±4.37 de
	P5	70.20±2.13 e	24.31±0.46 e	75.69±0.46 cd
	P6	68.09±1.76 f	32.71±2.61 ab	67.29±2.61 e
	P7	71.56±2.79 d	30.26±3.49 bc	69.74±3.49 cd
	P8	70.15±2.42 e	33.21±1.23 a	66.79±1.23 de
	P9	73.60±0.39 ab	30.09±3.86 bc	69.91±3.86 bc
	P10	74.22±0.51 a	32.80±1.42 ab	67.20±1.42 de
F 值	Zn	4.680*	8.172**	8.172**
	P	48.506**	10.211**	10.211**
	Zn×P	21.992**	8.870**	8.870**

注:不同小写字母表示同一指标在不同基因型间差异显著($P<0.05$)。下表同。
Note: The different lowercase letters mean significant difference($P<0.05$) under the same index among different types. The same below.

从表2中可以看出,本试验条件下,夏玉米子粒总淀粉、直链和支链淀粉含量平均分别为71.74%、30.00%和70.00%。锌处理、基因型及其二者交互作用对各指标的影响均达显著或极显著水平。Zn1处理下总淀粉、直链和支链淀粉含量分别为72.39%、30.83%和69.17%,其中,总淀粉和直链淀粉含量分别较Zn0处理提高1.8%和5.7%,支链淀粉则下降了2.3%。各品种总淀粉表现,以P10最高,为74.22%,P9与P10无统计差异;以P6最低,为68.09%;其次是P8和P5,平均为70.17%。直链淀粉含量以P8最高,为33.21%,P10、P6和P3与P8无显著差异;以P5最低,为24.31%,P1与P5无显著差异,其他品种间差

异不明显。支链淀粉以P5最高,为75.69%,与P1无统计上差异,但较P4和P2平均提高了6.4%;以P8最低,为66.79%,其他基因型间无显著差异。

与Zn0处理相比,Zn1处理下P7、P8和P5的子粒总淀粉含量分别提高7.2%、6.4%和5.4%(图1)。Zn0处理下总淀粉含量以P10最高,为74.69%;其次是P9,为73.37%;以P8最低,为67.96%,与P5无统计上差异,但较P6和P7降低了1.69%,较P1、P2、P3和P4平均降低了5.7%。Zn1处理下,P1和P7总淀粉含量最高,平均为74.21%;以P6最低,为66.99%;其次是P4,为69.83%。

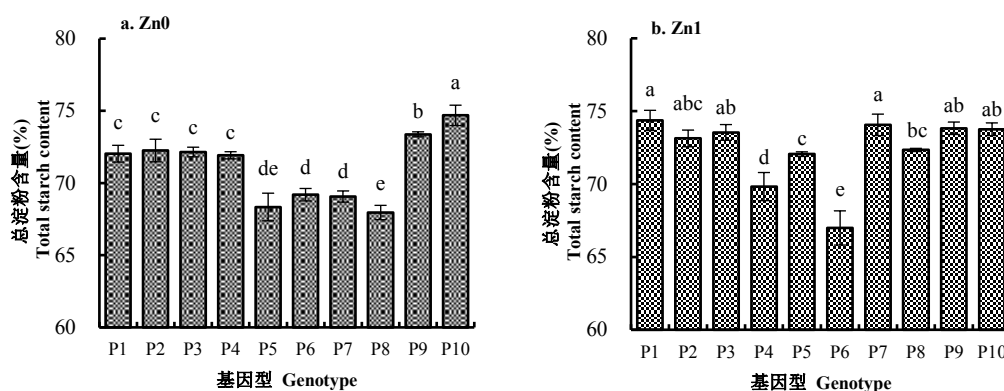


图1 不同锌处理下各基因型夏玉米子粒总淀粉含量的变化

Fig.1 Variation of total starch content of different summer maize genotypes under different Zn treatments

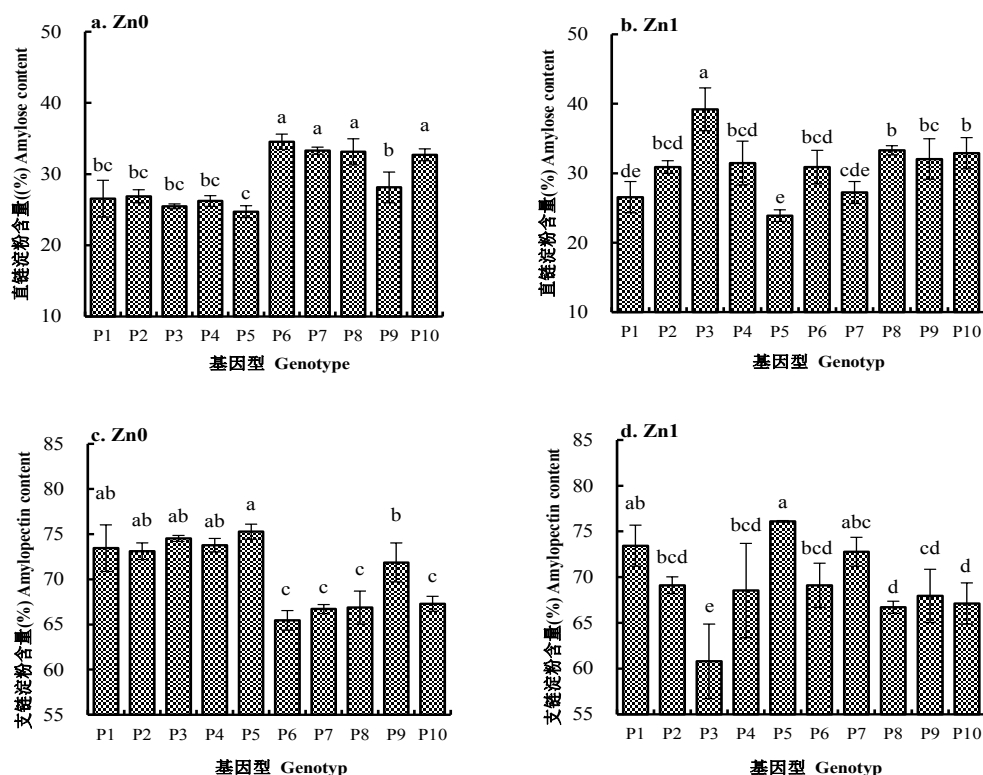


图2 不同锌处理下各基因型夏玉米子粒直链和支链淀粉含量的变化

Fig.2 Variation of amylose and amylopectin content of different summer maize genotypes under different Zn treatments

与 Zn0 处理相比,Zn1 处理下 P3、P4、P2 和 P9 的子粒直链淀粉含量分别提高 53.9%、20.0%、14.9%和 13.9%,P7 和 P6 则分别下降 18.2%和 10.6%(图 2)。Zn0 处理下直链淀粉含量以 P6、P7、P8 和 P10 最高,平均为 33.42%,以 P5 最低,为 24.73%,其他基因型间无显著差异。Zn1 处理下直链淀粉以 P3 最高,为 39.20%,以 P5 最低,为 23.89%,与 P1 和 P7 无显著差异,其他基因型间差异不明显,平均为 31.91%。

与 Zn0 处理相比,Zn1 处理下 P7 和 P6 的子粒支链淀粉含量分别提高 9.1%和 5.6%,P3、P4、P2 和 P9 分别下降 18.4%、7.1%、5.5%和 5.4%(图 2)。Zn0 处理下,支链淀粉含量以 P5 最高,为 75.27%,较 P6、P7、

P8 和 P10 平均增加了 13.1%,其他基因型间无显著差异,平均为 73.34%。Zn1 处理下,支链淀粉含量以 P5 最高,为 76.11%,与 P1 和 P7 无统计差异,较 P3 提高了 25.2%,其他基因型间无显著差异,平均为 68.09%。

2.3 叶面喷锌对不同基因型夏玉米子粒粗蛋白、粗脂肪和粗纤维含量的影响

不同锌处理和基因型对夏玉米子粒粗蛋白、粗脂肪和粗纤维含量的影响如表 3 所示。从表 3 中可以看出,锌处理和基因型及二者交互对夏玉米子粒粗蛋白和粗脂肪含量的影响均达显著或极显著水平,基因型对子粒粗纤维含量的影响也达极显著水

表 3 不同锌处理和基因型对夏玉米子粒粗蛋白、粗脂肪和粗纤维含量的影响

Table 3 Effect of different Zn treatments and genotypes on the crude protein, fat and fibre content of summer maize %

项 目 Item	处 理 Treatment	粗蛋白含量 Crude protein content	粗脂肪含量 Crude fat content	粗纤维含量 Crude fibre content
Zn	Zn0	9.18±0.48	3.06±0.40	2.30±0.29
	Zn1	9.07±0.44	3.14±0.60	2.38±0.33
P	P1	8.89±0.29 d	2.83±0.27 d	2.40±0.26 abc
	P2	9.45±0.16 ab	3.15±0.33 c	2.53±0.10 ab
	P3	9.59±0.28 a	3.42±0.62 b	2.30±0.18 abcd
	P4	9.49±0.25 a	2.82±0.25 d	2.43±0.27 abc
	P5	9.24±0.21 bc	3.05±0.41 c	2.38±0.27 abc
	P6	9.11±0.24 c	2.78±0.29 d	2.03±0.18 d
	P7	9.21±0.13 c	2.40±0.34 e	2.63±0.43 a
	P8	8.88±0.25 d	3.78±0.10 a	2.28±0.23 bcd
	P9	9.27±0.18 bc	3.18±0.35 c	2.10±0.06 cd
	P10	8.13±0.27 e	3.58±0.17 b	2.28±0.50 bcd
F 值	Zn	4.966*	4.174*	1.332
	P	34.783**	45.056**	2.995**
	Zn×P	4.745**	22.982**	2.021

平。Zn0 处理条件下,子粒粗蛋白、粗脂肪含量分别为 9.18%和 3.06%,Zn1 处理较 Zn0 分别降低 1.1%和提高 2.6%。各基因型下子粒粗蛋白表现为 P3 和 P4 最高,平均为 9.54%,与 P2 无统计上差异,较 P10 提高 17.4%,较 P8 和 P1 提高了 7.4%,较其他基因型提高了 3.6%。粗脂肪含量表现以 P8 最高,为 3.78%;其次是 P10 和 P3,为 3.50%;以 P7 最低,为 2.40%,其次是 P6、P4 和 P1,平均为 2.81%。粗纤维表现以 P7 最高,为 2.63%,与 P2、P4、P1、P5 和 P3 无统计上差异;以 P6 最低,为 2.03%,其他基因型间差异未达显著水平,平均为 2.22%。

与 Zn0 处理相比,Zn1 处理下 P4 的子粒粗蛋白含量提高 4.5%,P1 和 P3 分别下降 5.0%和 4.6%(图 3)。

Zn0 处理下子粒粗蛋白含量以 P3 最高,为 9.82%,较 P10、P8 和其他基因型平均分别提高 22.2%、10.6%和 5.7%。Zn1 处理下粗蛋白含量以 P4 最高,为 9.70%,与 P2 无统计上差异,较 P3、P9 和 P7 平均提高 4.8%;以 P10 最低,为 8.23%,其次是 P1、P8 和 P6,平均为 8.82%。

与 Zn0 处理相比,Zn1 处理下 P3、P9、P1 和 P2 的子粒粗脂肪含量分别提高 38.4%、22.1%、17.9%和 17.2%,P7、P5、P6 和 P4 分别下降 22.2%、20.6%、12.4%和 10.1%(图 4)。子粒粗脂肪含量在 Zn0 处理下表现以 P8 最高,为 3.87%,较 P5 和 P10 平均提高 12.6%;以 P1 最低,为 2.60%,其他基因型间差异不明显,平均为 2.88%。Zn1 处理下各基因型间粗脂肪

的变化不一致,其中以P3最高,为3.97%,与P10和P8差异不显著,其他基因型间表现为P9、P2>P1>P5、P4、P6>P7。

与Zn0处理相比,Zn1处理下P10、P8、P7和P3的子粒粗纤维含量分别提高28.3%、17.5%、13.5%和9.1%,P1、P4和P2分别下降15.4%、10.4%和5.1%

(图5)。Zn0处理下子粒粗纤维以P2、P1和P4最高,平均为2.59%,较P6、P10、P8、P9和P3平均提高了24.5%,与其他基因型间无显著差异。Zn1处理下,P7粗纤维含量为2.80%,较P6、P9和P1平均提高31.9%,其他基因型间差异不明显,平均为2.43%。

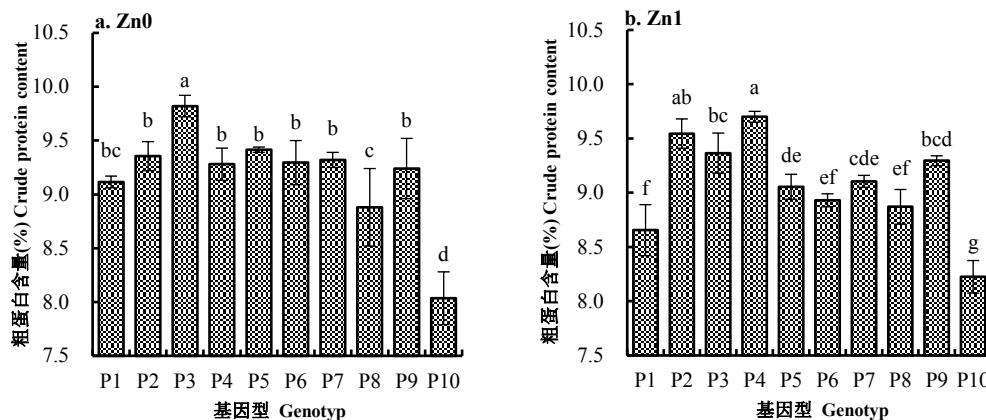


图3 不同锌处理下各基因型夏玉米子粒粗蛋白含量的变化

Fig.3 Variation of crude protein content of different summer maize genotypes under different Zn treatments

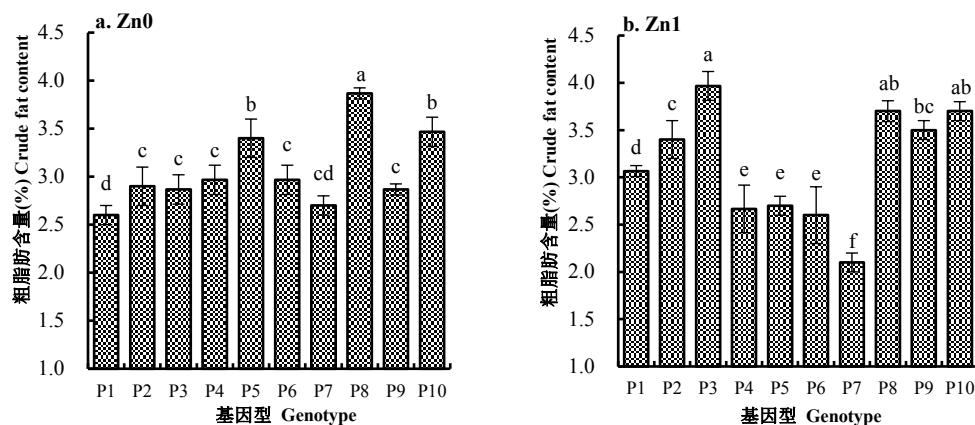


图4 不同锌处理下各基因型夏玉米子粒粗脂肪含量的变化

Fig.4 Variation of crude fat content of different summer maize genotypes under different Zn treatments

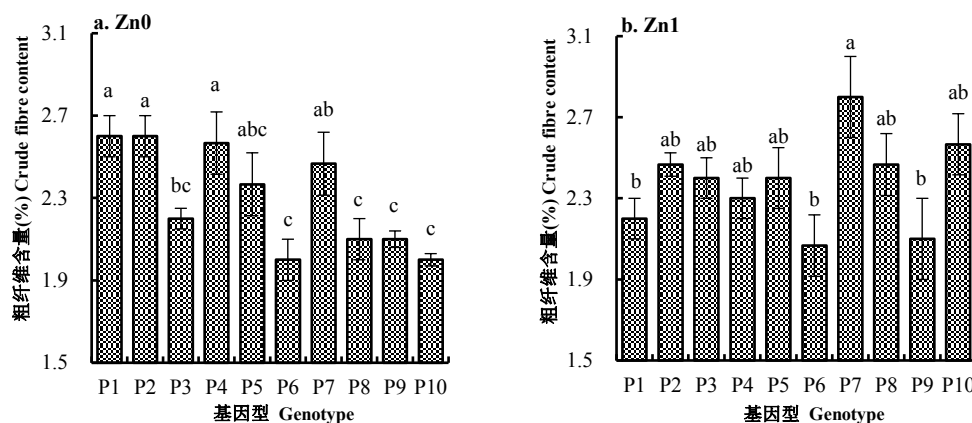


图5 不同锌处理下各基因型夏玉米子粒粗纤维含量的变化

Fig.5 Variation of crude fibre content of different summer maize genotypes under different Zn treatments

3 结论与讨论

3.1 叶面喷锌对不同基因型夏玉米子粒产量的影响

研究表明,玉米是对锌较敏感的作物之一,施用锌肥对玉米子粒产量有一定的影响,尤其是在土壤缺锌或潜在缺锌区域,其效果更为明显。在玉米吐丝期及其后 12、24 d 喷施锌肥后,发现适量锌肥能明显降低果穗秃尖长度,显著增加京科糯 2000 和郑单 958 的产量,但对百粒重无显著影响^[22]。研究秸秆还田条件下施锌对春玉米产量及锌素吸收分配的影响后发现,施用锌肥能够显著提高春玉米的产量和干物质积累量,并促进植株对锌素的吸收和向子粒的分配^[23]。在黄土高原低硒区的典型土壤上,发现施用适量的锌肥,玉米产量明显提高^[24]。不同喷锌量的试验表明,4 个糯玉米品种最高产量分别比不喷锌处理提高 26.83%、8.52%、5.13% 和 11.56%^[25]。本试验条件下,喷施锌肥后,10 个夏玉米子粒产量平均提高了 7.5%。施锌能提高玉米子粒产量,主要是因为锌是参与光合作用过程中许多种酶的组成成分,在植物中通过活化碳酸酐酶,影响 CO₂ 的水合反应,影响光合磷酸化、希尔反应、羧化反应和叶绿体的离子通量,进而影响作物的光合作用。锌还影响蛋白质合成过程中的 RNA 聚合酶活性以及体内 SOD 和 H₂O₂ 活性,在稳定和生物细胞膜、稳定细胞结构和改善光合作用、促进植株生长等方面起着不可替代的作用。因此,适量施锌能够增加叶片中碳酸酐酶的含量,提高光合速率,加快干物质积累速率,促进子粒灌浆,提高玉米穗粒重,同时减少果穗的秃尖长度,提高果穗的穗粒数,进而提高子粒产量。

不同的基因型对叶面喷锌的响应不一致。本研究条件下,喷锌条件下登海 605、迪卡 653、先玉 335、秋乐 618、裕丰 303、郑单 958 和谷神玉 66 的子粒产量分别较不喷锌处理提高 11.2%、7.2%、9.0%、7.9%、7.4%、17.7% 和 21.2%,德单 5 号和伟科 702 在两个施锌处理下的产量无显著变化,隆平 638 有下降趋势。表明登海 605 等是对锌素较敏感的玉米基因型,属于锌高效型品种;隆平 638、德单 5 号和伟科 702 则是对锌素不敏感的基因型,属于锌不敏感型品种。因此,在缺锌土壤上,可选用登海 605、迪卡 653、先玉 335、秋乐 618、裕丰 303、郑单 958 和谷神玉 66 等锌高效型品种,进行叶面喷锌处理,可进一步挖掘玉米高产的潜力,促进玉米高产、高效。

3.2 叶面喷锌对不同基因型夏玉米子粒品质的影响

锌对作物营养品质存在一定影响。研究发现,

锌肥对玉米营养品质的影响不尽一致。池裁试验表明,施用 ZnO 4.2 kg/hm² 可提高子粒中蛋白质、脂肪、淀粉和全糖含量 5.63%、5.37%、2.69% 和 2.29%^[26]。张瑞芳等^[27]研究发现,施锌后,陕彩糯 1954 子粒中粗蛋白含量下降了 0.94%。张勇强等^[28]采用盆栽试验研究施用锌肥对玉米穗粒品质的影响后发现,土壤基施加叶面喷施锌肥,夏播玉米子粒中蛋白质和脂肪含量显著提高,而淀粉含量未有明显变化。田间试验中,在玉米苗期喷施锌肥后,夏玉米子粒粗蛋白、粗脂肪和氨基酸分别提高 9.4%、12.1% 和 10.7%,但粗淀粉含量差异未达显著水平^[29]。不同的土壤施锌水平试验结果发现^[30],施锌处理下玉米子粒中粗蛋白和可溶性糖含量显著升高,而子粒中淀粉含量的变化不明显,且随着施锌量的增加,玉米子粒粗蛋白含量和可溶性糖含量呈先增后降趋势。李宇航等研究发现,叶面喷施锌肥能显著提高晋糯 18 和晋单糯 41 子粒中的可溶性糖、粗蛋白和粗脂肪的含量,且随着叶面喷锌量的增加,粗脂肪和粗蛋白含量呈先增后降趋势,子粒平均淀粉含量呈先降低后增加的趋势。对于晋单糯 41,施锌则明显提高了子粒中淀粉含量。锌与植物生长调节物质混合喷施后,对于玉米子粒品质的提高幅度较大,其中子粒粗蛋白含量增加 1.79%~5.35%,可溶性糖含量增加 18.12%~33.15%,淀粉含量则增加 2.71%~8.85%^[31]。产生不同结果的原因,可能是由于品种特性、土壤环境和气候以及锌肥施用时期及用量等存在差异所引起的,也可能与植株体内碳水化合物分解释放能力比例需求提升或降低,导致转运到子粒中碳水化合物减少或增加,从而引起子粒中淀粉等物质含量产生相应变化有关。

本试验条件下,叶面喷锌能显著提高夏玉米子粒中淀粉含量,其中伟科 702、裕丰 303 和德单 5 号在喷施条件下,子粒中淀粉含量分别提高 5.4%、7.2% 和 6.4%。叶面喷锌能显著提高子粒中直链淀粉含量,却降低子粒中支链淀粉含量,不同基因型在喷锌条件下的表现不一致。对于裕丰 303 来说,支链淀粉在喷锌条件下提高了 9.1%,这也表明喷锌对裕丰 303 淀粉的提升主要来自于提高了子粒中的支链淀粉含量。叶面喷锌能提高玉米子粒中淀粉含量,这可能是由于锌增强了作物的光合作物,提高了光合物质的积累,促进了糖类等物质的积累,从而为向子粒更多地转移营养物质奠定了物质基础。本研究条件下,叶面喷锌处理分别降低 1.1% 粗蛋白和 2.6% 粗脂肪,但并未影响子粒总粗纤维的含量。这可能是因为营养生长阶段喷施锌肥对子粒粗蛋白、

粗纤维等营养品质指标的提升效果较小,后期可进一步研究抽雄吐丝后喷施锌肥对子粒营养品质的影响。

在夏玉米大田生产中,选用裕丰303,在拔节期和大喇叭口期1:1喷施4.5 kg/hm² ZnSO₄,能够显著提高子粒产量,同时提高子粒中淀粉及其支链淀粉含量,改善裕丰303的品质特性,同步达到子粒高产和优质的目的,可作为夏玉米高产和优质栽培技术推广使用。

参考文献:

- [1] SABOOR A, ALI M A, AHMED N, et al. Biofertilizer-based zinc application enhances maize growth, gas exchange attributes, and yield in zinc-deficient soil[J]. Agriculture-Basel, 2021, 11(4): 310.
- [2] 王子腾,耿元波. 国内外主要粮食作物对施用锌肥响应的研究进展[J]. 植物营养与肥料学报, 2018, 24(3): 805-816.
WANG Z T, GENG Y B. Research advances on the response of main food crops to zinc fertilization at China and abroad[J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizers, 2018, 24(3): 805-816. (in Chinese)
- [3] 赵丽芳,袁 亮,张水勤,等. 氮锌配施对作物产量、品质及养分吸收利用的影响研究进展[J]. 中国土壤与肥料, 2021(6): 346-352.
ZHAO L F, YUAN L, ZHANG S Q, et al. Effects of combined application of zinc and nitrogen fertilizers on crop yield, quality and nutrient utilization: A review[J]. Soil and Fertilizer Sciences in China, 2021(6): 346-352. (in Chinese)
- [4] GREFFEUILLE V, KAYODE A P, ICARD V C, et al. Changes in iron, zinc and chelating agents during traditional African processing of maize: Effect of iron contamination on bioaccessibility[J]. Food Chemistry, 2011, 126(4): 1800-1807.
- [5] BERENGUER P, CELA S, SANTIVERI F, et al. Copper and zinc soil accumulation and plant concentration in irrigated maize fertilized with liquid swine manure[J]. Agronomy Journal, 2008, 100(4): 1056-1061.
- [6] 廖 芬. 作物营养强化农产品改善人口营养健康的经济评价研究[D]. 武汉:华中农业大学, 2020.
- [7] HUI X L, LUO L C, WANG S, et al. Critical concentration of available soil phosphorus for grain yield and zinc nutrition of winter wheat in a zinc-deficient calcareous soil[J]. Plant and Soil, 2019, 444(1-2): 315-330.
- [8] 孙建华. 玉米施锌吸收积累及有效化调控机理的研究[D]. 长春:吉林农业大学, 2013.
- [9] MARTINEZ C N, CARCIOCHI W, SAINZ R H, et al. Effect of zinc application strategies on maize grain yield and zinc concentration in mollisols[J]. Journal of Plant Nutrition, 2021, 44(4): 486-497.
- [10] BERENGUER P, CELA S, SANTIVERI F, et al. Copper and zinc soil accumulation and plant concentration in irrigated maize fertilized with liquid swine manure[J]. Agronomy Journal, 2008, 100(4): 1056-1061.
- [11] 康利允,马政华,李红英,等. 氮锌配施对玉米干物质积累及产量效应的研究[J]. 中国土壤与肥料, 2011(1): 34-38.
KANG L Y, MA Z H, LI H Y, et al. Effect of application of nitrogen and zinc fertilizers on dry material accumulation and yield in maize [J]. Soil and Fertilizer Sciences in China, 2011(1): 34-38. (in Chinese)
- [12] 赵丽芳,袁 亮,张水勤,等. 锌与尿素物理混合和熔融混合对玉米产量及肥料氮、锌利用的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2021, 27(10): 1714-1724.
ZHAO L F, YUAN L, ZHANG S Q, et al. Impact of physical and melting mixing of zinc and urea on maize yield and fertilizer nitrogen and zinc use[J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizers, 2021, 27(10): 1714-1724. (in Chinese)
- [13] 杨 静. 喷施微量元素对冬小麦、夏玉米生长发育、产量及品质的影响[D]. 武汉:华中农业大学, 2012.
- [14] 刘红恩,李金峰,刘世亮,等. 施用含锌尿素对夏玉米产量、氮素吸收及氮肥利用率的影响[J]. 江苏农业科学, 2016, 44(9): 94-97.
LIU H E, LI J F, LIU S L, et al. Effect of zinc-containing urea fertilizer application on the yield, nitrogen absorption and nitrogen fertilizer efficiency of summer maize[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2016, 44(9): 94-97. (in Chinese)
- [15] BASHIR S, BASIT A, ABBAS R N, et al. Combined application of zinc-lysine chelate and zinc-solubilizing bacteria improves yield and grain biofortification of maize (*Zea mays* L.) [J]. PLoS One, 2021, 16(7).
- [16] 路博宇,张泽宇,宋鑫丽,等. 锌氮互作对糯玉米子粒营养品质及锌含量的影响[J]. 东北农业大学学报, 2021, 52(8): 12-20.
LU B Y, ZHANG Z Y, SONG X L, et al. Effects of zinc and nitrogen interaction on nutritional quality and zinc content of waxy corn (*Zea mays* L.) [J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2021, 52(8): 12-20. (in Chinese)
- [17] 李佐同,杨克军,王玉凤. 锌对不同基因型玉米产量及氮磷钾锌吸收与分配的影响[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(16): 8355-8358.
LI Z T, YANG K J, WANG Y F, et al. Effect of zinc on the yield, nitrogen/phosphorus/potassium/zinc uptake and distribution of different genotypes of maize[J]. Anhui Agricultural Sciences, 2010, 38(16): 8355-8358. (in Chinese)
- [18] 张盼盼,邵运辉,刘京宝,等. 施用氮锌肥对不同夏玉米品种干物质和氮锌元素累积分配的影响[J]. 华北农学报, 2022, 37(2): 96-103.
ZHANG P P, SHAO Y H, LIU J B, et al. Effect of nitrogen and zinc application on the accumulation and distribution of dry matter and nitrogen and zinc of different summer maize varieties[J]. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 2022, 37(2): 96-103. (in Chinese)
- [19] 张盼盼,乔江方,李 川,等. 叶面喷锌时期对不同夏玉米品种植株微量元素含量及分配的影响[J]. 河南农业科学, 2023, 52(1): 11-23.
ZHANG P P, QIAO J F, LI C, et al. Effects of foliar zinc stages on concentration and distribution of microelement in different summer maize varieties[J]. Henan Agricultural Sciences, 2023, 52(1): 11-23. (in Chinese)
- [20] 何照范. 谷物淀粉组份分离及测试方法评述[J]. 粮食储藏, 1985(6): 32-38.
HE Z F. Review on separation and testing methods of cereal starch

- components[J]. *Store Grain*, 1985(6): 32–38. (in Chinese)
- [21] 李宇航. 叶面喷锌对糯玉米产量、子粒中营养品质及矿质元素的影响[D]. 太原:山西农业大学, 2021.
- [22] 蒋曦龙, 王 澜, 乔月彤, 等. 叶面喷锌对两种类型玉米产量、子粒锌等矿质营养元素含量的影响[J]. *山东农业科学*, 2021, 53(3): 72–78.
- JIANG X L, WANG L, QIAO Y T, et al. Effects of foliar spraying zinc on yield and contents of zinc and other mineral elements of two maize cultivars[J]. *Shandong Agricultural Sciences*, 2021, 53(3): 72–78. (in Chinese)
- [23] 孟祥齐, 王一丁, 曹国军, 等. 秸秆还田下施锌对春玉米产量及锌素吸收分配的影响[J]. *西北农林科技大学学报(自然科学版)*, 2020, 48(3): 82–90.
- MENG X Q, WANG Y D, CAO G J, et al. Effects of zinc application under straw returning on yield and zinc absorption and distribution of spring maize[J]. *Journal of Northwest A&F University (Nat. Sci. Ed.)*, 2020, 48(3): 82–90. (in Chinese)
- [24] 咎亚玲, 王朝辉, 毛 晖, 等. 施用硒、锌、铁对玉米和大豆产量与营养品质的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2010, 16(1): 252–256.
- ZAN Y L, WANG Z H, MAO H, et al. Effect of Se, Zn and Fe application on yield and nutritional quality of maize and soybean[J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizers*, 2010, 16(1): 252–256. (in Chinese)
- [25] 李宇航, 杜天庆, 龚 芮, 等. 叶面喷锌对糯玉米生理特性、子粒锌含量及产量的影响[J]. *河南农业科学*, 2020, 49(10): 26–32.
- LI Y H, DU T Q, GONG R, et al. Effects of foliar application of zinc on physiological characteristics, grain Zn content and yield of waxy corn[J]. *Henan Agricultural Sciences*, 2020, 49(10): 26–32. (in Chinese)
- [26] 杨利华, 郭丽敏, 傅万鑫. 施锌对玉米氮磷钾肥料利用率、产量及子粒品质的影响[J]. *中国生态农业学报*, 2003(2): 47–49.
- YANG L H, GUO L M, FU W X. Effects of zinc on fertilizer utilization rates of nitrogen, phosphorus and potassium, grain yield and quality in maize[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2003(2): 47–49. (in Chinese)
- [27] 张瑞芳. 锌硒和播种密度对糯玉米品种产量及营养品质的影响[D]. 杨陵:西北农林科技大学, 2022.
- [28] 张勇强, 宋 航, 薛志伟, 等. 施用锌肥和硼肥对玉米穗粒性状和品质的影响[J]. *核农学报*, 2017, 31(2): 371–378.
- ZHANG Y Q, SONG H, XUE Z W, et al. Effects of zinc and boron rate on ear-kernel traits and grain quality in maize[J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2017, 31(2): 371–378. (in Chinese)
- [29] 李 文, 李伶俐, 王志强, 等. 喷施锌钼肥对渍涝胁迫玉米生长发育及产量和品质的影响[J]. *河南农业大学学报*, 2016, 50(5): 593–597.
- LI W, LI L L, WANG Z Q, et al. Effect of spraying Zn and Mo fertilizers on corn growth and development, and yield & quality under waterlogging stresses[J]. *Journal of Henan Agricultural University*, 2016, 50(5): 593–597. (in Chinese)
- [30] 杨 茜. 锌肥对盐碱地玉米生长及养分吸收的影响[D]. 银川:宁夏大学, 2021.
- [31] 赵海蓓. 锌肥和几种生长调节物质对玉米产量和品质的影响[D]. 石河子:石河子大学, 2020.

(责任编辑: 栾天宇)