



乔早艳,路敏,焦永康,等.聚天冬氨酸锌不同施用量对华北地区夏玉米的影响[J].黑龙江农业科学,2024(2):23-30.

聚天冬氨酸锌不同施用量对华北地区夏玉米的影响

乔早艳¹,路敏²,焦永康³,赵龙梅³,李文曦³

(1.山西天泽集团永丰肥料有限公司,山西 晋城 048000; 2.石家庄循环化工研究院,河北 石家庄 050000; 3.河北协同化学有限公司,河北 石家庄 050000)

摘要:为了探索聚天冬氨酸锌(PASP-Zn)在华北夏玉米生产过程中减肥增效和提质增效方面的效果,本研究以郑单 958 为材料,以 PASP-Zn 施用量与养分供给水平为研究变量,对华北夏玉米的干物质积累、养分利用、玉米产量等相关农学指标进行了统计与分析。结果表明,在试验范围内,PASP-Zn 用量的增加能够有效地增加夏玉米干物质的积累速率(T1~T9 增长率为-0.58%~9.70%)和养分利用(主要为氮和磷);PASP-Zn 的施用能有效增加玉米产量(T1~T9 增产幅度为 3.33%~21.31%),主要增加夏玉米的千粒重(T1~T9 增长幅度为 1.45%~11.89%),并对穗粒数也有一定的提高(T1~T9 增长幅度为 1.40%~7.93%);对养分利用相关的农学指标检测分析发现,在常规施肥或减肥 15%条件下,PASP-Zn 用量为 1.5 kg·hm⁻²就能取得较好的效果,但是在减量施肥 30%条件下,则需要增加 PASP-Zn 的用量至 3.0 kg·hm⁻²以保证其增效效果。因此,可以在华北地区夏玉米种植过程中进行氮、磷肥的减施,配合使用 PASP-Zn 进行种植。

关键词:聚天冬氨酸锌;施用量;夏玉米;华北地区

夏玉米是我国重要的粮食作物^[1],对我国粮食安全和经济内循环有着重要的作用^[2];而华北地区作为我国夏玉米的主要产区之一,具有独特的战略地位^[3-4]。随着其国民经济地位的提升,华北地区夏玉米的种植受到了严峻挑战:首先是氮肥利用率低、过量施用情况的日趋严重导致了资源的极大浪费^[5]和产量的不稳定^[6];其次是华北地区降雨的不稳定性^[7]。据统计,1970 年之后华北地区夏季的降雨趋于减少,并且由于时空分布的不均匀,导致干旱时有发生^[8]。针对肥料利用率的问题,大多数种植者会去选择功能性肥料、缓释型肥料等新型肥料^[9-10],但是不能忽视的是这些肥料使用不当会造成夏玉米的贪青和养分积蓄减弱^[11];而对于水分问题,理论上可以通过喷/滴灌的方法进行节水种植^[12-13],但是对种植者来说,成本和分散种植的模式使得上述方法仍然不容易被推广。因此,华北地区夏玉米的种植过程中亟需新的增效物质去改善肥料利用率和水分问题。

聚天冬氨酸是一种优异的肥料增效剂,具有绿色环保、提质增效、保水保肥的优良品质^[14-15],多以聚天冬氨酸(钠)盐形式在市场流通。聚天冬

氨酸锌(PASP-Zn)是根据作物对锌的利用规律并结合聚天冬氨酸的作用特点研发而成;该产品在保留聚天冬氨酸(钠)作用基础上实现了无钠有锌、不含有其他阴离子、酸碱度适中、分子量集中的特点。作为优良的补锌剂,该产品非常适合在我国夏玉米的种植中使用^[16]。但是在实际推广应用过程中,技术人员发现不同厂家生产的肥料产品中 PASP-Zn 含量参差不齐,造成了产品效果差异较大,未能有效地服务于我国夏玉米的种植。因此,本文以华北地区夏玉米常用品种郑单 958 为研究对象,以 PASP-Zn 固体为肥料增效物质进行了常规用肥和减肥研究,以期探明 PASP-Zn 产品在华北地区夏玉米生产中的最佳使用量,从而促进其应用推广。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于 2022 年在河北省石家庄市赞皇县东高村(37°69'62N,114°49'56E)进行。试验地块为太行山山前平原,土壤为砂质褐土,播前土壤(0~20 cm)含有机质 1.46%、碱解氮 95.97 mg·kg⁻¹、速效磷 19.04 mg·kg⁻¹、速效钾 107.65 mg·kg⁻¹。

1.2 材料

1.2.1 供试玉米 参试玉米材料郑单 958。由

收稿日期:2023-08-19

基金项目:河北协同化学有限公司科研项目(XTHX-YF-2022-05)。

第一作者:乔早艳(1987—),女,学士,助理工程师,从事新型肥料的质量控制与优化,煤化工行业三废处理的研究。E-mail:453771067@qq.com。

通信作者:李文曦(1966—),男,学士,高级工程师,从事聚天冬氨酸等新化合物合成、产品转化等方向的研究。E-mail:jiaoyongkang@126.com。

河南省农业科学粮食作物研究所选育(审定编号:国审玉 20000009),河南金博士种业股份有限公司生产,市售。

1.2.2 供试肥料 底肥:复合肥料(15-15-15),新洋丰农业科技股份有限公司,市售;复合肥料(0-15-15、15-0-15、15-15-0),新洋丰农业科技股份有限公司,定制。追肥:尿素(N:46.0%),山西天泽集团永丰化肥有限公司,市售。

1.2.3 供试增效剂 PASP-Zn(有效成分>93.0%,阳离子为锌,含量 14.65%;阴离子为聚天冬氨酸根,粘均分子量 Mr 为 7.5 kDa),河北协同化学有限公司提供。

表 1 不同 PASP-Zn 用量对夏玉米的影响试验设计

处理		PASP-Zn 用量/(kg·hm ⁻²)	复合肥料用量/(kg·hm ⁻²)	尿素用量/(kg·hm ⁻²)	N-P ₂ O ₅ -K ₂ O 施用量/(kg·hm ⁻²)
常规	T1	1.5	750.0	300	250.50-112.50-112.50
	T2	3.0	750.0	300	250.50-112.50-112.50
	T3	4.5	750.0	300	250.50-112.50-112.50
减肥 15%	T4	1.5	637.5	255	212.93-95.63-95.63
	T5	3.0	637.5	255	212.93-95.63-95.63
	T6	4.5	637.5	255	212.93-95.63-95.63
减肥 30%	T7	1.5	525.0	210	175.35-78.75-78.75
	T8	3.0	525.0	210	175.35-78.75-78.75
	T9	4.5	525.0	210	175.35-78.75-78.75
	CK	0	750.0	300	250.50-112.50-112.50
	CK1	0	750.0	0	0-112.50-112.50
	CK2	0	750.0	300	250.50-0-112.50
	CK3	0	750.0	300	250.50-112.50-0

夏玉米以郑单 958 自 2022 年 6 月 18 日种肥同播处理,并通过拌肥方式将 PASP-Zn 与复合肥共同施用,每个处理设定为 300 m²(5.5 m×54.5 m,玉米苗 12 垄),并在大喇叭口期定植为 82 500 株·hm⁻²后追施尿素;定植后,在各处理小区内随机选取 6 株玉米植株作为观察样本,每处理 5 次重复,各小区玉米于 2022 年 10 月 5 日进行收获,并进行相关产量指标的测定。

1.3.2 测定项目及方法 干物质积累:在夏玉米的成熟期,将选择的 6 株玉米植株将秸秆和籽粒分别清洗、装袋后,置于 105 ℃条件下杀青 30 min,在 80 ℃条件下烘干至恒重,粉碎后称重。

养分利用:按照干物质积累的方法将样品进行处理后,分别测定不同处理的秸秆和籽粒中的全氮、全磷、全钾的含量,其中氮含量采用半微量凯氏定氮法测定^[17]、磷含量的测定采用硫酸-双

1.3 方法

1.3.1 试验设计 试验设 9 个处理,其中 T1~T3 为常量施肥时 PASP-Zn 不同用量处理,T4~T6 为减肥 15%时 PASP-Zn 不同用量处理,T7~T9 为减肥 30%时 PASP-Zn 不同用量处理,其中 T1~T9 与 CK 处理底肥使用复合肥料(15-15-15);分别设置不施用氮施用等量磷钾处理 CK1、不施用磷施用等量氮钾处理 CK2、不施用钾施用等量氮磷处理 CK3,仅用于养分利用指标的消减,分别使用复合肥料(0-15-15、15-0-15、15-15-0)作为底肥。同时设置不施用 PASP-Zn 的常量施肥为对照组 CK,具体处理见表 1。

氧水消煮-钼钒黄比色法,钾含量的测定采用火焰分光光度法^[18]。

结合干物质积累量计算氮、磷、钾的养分积累量、养分收获指数和偏生产力。

植株养分积累量(kg·hm⁻²)=植株各器官该养分含量×对应器官干物质积累量

养分收获指数(%)=籽粒该养分收获量/植株地上部总该养分量×100

养分偏生产力(kg·kg⁻¹)=籽粒产量/该养分施用量

玉米产量:成熟期,将各小区进行单独收获,对所有玉米穗进行称量,记录总鲜质量,并计算小区的玉米平均鲜穗质量;将上述玉米穗自然风干后脱粒,分别测量玉米籽粒质量和玉米穗轴质量,并按照 14%水分折算标准产量、计算平均穗产量和增产率,同时测量千粒重,并计算穗粒数。

1.3.3 数据分析 采用 Excel 2010 对数据进行统计、分析,采用 SPSS 22.0 进行数据差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 干物质积累

由表 2 可知,与 CK 相比,T1~T9 干物质积累增长率为-0.58%~9.70%,其中 T1~T3 较 CK 显著增长 5.63%~9.70%,T4~T6 和 T7~T9 较 CK 分别增长 1.47%~4.23%和-0.58%~0.86%,但与 CK 相比差异不显著。

在同一营养水平处理下,随着 PASP-Zn 用量的增加,干物质积累率呈上升趋势,表现为:T3>

T2>T1、T6>T5>T4、T9>T8>T7;在相同 PASP-Zn 用量处理下,随着养分水平的增加,干物质的积累率同样呈现上升趋势,表现为:T1>T4>T7、T2>T5>T8、T3>T6>T9,该现象随着 PASP-Zn 用量的增加趋势变得更加显著。

由此可知,在试验范围内,同等养分施用条件下,PASP-Zn 用量的增加会促进夏玉米干物质的积累速率;而在同等 PASP-Zn 用量条件下,随着养分施用水平的增加夏玉米干物质的积累速率也会有相应的变化。由此可知,PASP-Zn 参与种肥同播后能够促进夏玉米干物质的积累。

表 2 不同 PASP-Zn 用量对夏玉米干物质积累的影响

处理		秸秆生长量/(kg·株 ⁻¹)	籽粒生长量/(kg·株 ⁻¹)	干物质积累量/(kg·株 ⁻¹)	增长率/%
常规	T1	0.4605±0.0024 ab	0.1565±0.0018 ab	0.6170±0.0021 ab	5.63±0.12 ab
	T2	0.4706±0.0017 ab	0.1624±0.0026 ab	0.6330±0.0022 ab	8.37±0.20 ab
	T3	0.4749±0.0053 a	0.1659±0.0024 a	0.6408±0.0039 a	9.70±0.14 a
减肥 15%	T4	0.4444±0.0042 b	0.1483±0.0016 b	0.5927±0.0029 b	1.47±0.08 b
	T5	0.4498±0.0036 b	0.1510±0.0032 b	0.6008±0.0034 b	2.86±0.11 b
	T6	0.4568±0.0041 b	0.1520±0.0025 b	0.6088±0.0033 b	4.23±0.13 b
减肥 30%	T7	0.4361±0.0026 b	0.1446±0.0034 b	0.5807±0.0030 b	-0.58±0.07 b
	T8	0.4406±0.0032 b	0.1459±0.0018 b	0.5865±0.0025 b	0.41±0.05 b
	T9	0.4419±0.0022 b	0.1472±0.0023 b	0.5891±0.0023 b	0.86±0.08 b
CK		0.4386±0.0076 b	0.1455±0.0032 b	0.5841±0.0054 b	—

注:不同小写字母表示处理间在 P<0.05 水平差异显著。下同。

2.2 养分利用

2.2.1 氮肥利用 由表 3 可知,氮素净积累量(对应处理总氮量-CK1 氮积累量,下同)呈现以下规律:T1~T3 处理为 51.66~53.84 kg·hm⁻²、T4~T6 处理为 47.56~49.97 kg·hm⁻²、T7~T9 处理为 42.84~45.19 kg·hm⁻²、CK 处理为 44.30 kg·hm⁻²;与 CK 相比,3 组氮素的净积累量分别提高了 16.61~21.53%、7.36~12.80%和-3.30~2.01%。通过分析可知,氮素净积累量方面,T1~T6 处理显著高于 CK;T7~T9 处理与 CK 差异不显著。因此,在试验范围内,氮素常量施肥或减量 15%施肥时,PASP-Zn 用量 1.5 kg·hm⁻²对氮素净积累量即可取得很好的效果;而当减量 30%施肥时,PASP-Zn 用量>3.0 kg·hm⁻²,也没有得到显著的效果。

氮收获指数方面,T1~T3 处理为 38.23%~39.39%、T4~T6 处理为 37.14%~38.33%、T7~T9 处理为 38.67%~39.54%、CK 处理为 38.74%;与 CK 相比,氮收获指数分别提高了

-1.32%~1.68%、-4.13~-1.06%、-0.15~2.07%。通过分析可知,氮收获指数方面,各处理与 CK 相比差异不显著。由此可知,PASP-Zn 用量的不同并未使得玉米植株(包括籽粒和秸秆)中的氮比例出现显著增加,而是通过促进植株干物质的积累从而促进了氮素吸收。

氮偏生产力方面,T1~T3 处理为 51.54~54.63 kg·kg⁻¹、T4~T6 处理为 57.46~59.01 kg·kg⁻¹、T7~T9 处理为 68.17~70.24 kg·kg⁻¹、CK 处理为 47.92 kg·kg⁻¹;与 CK 相比,氮偏生产力分别提高了 7.55%~14.00%、19.91%~23.14%、42.26%~46.58%。通过分析可知,氮偏生产力方面,各处理均显著高于 CK。由此可知,随着氮施用量的降低,PASP-Zn 促进氮素吸收的作用得到了很好的体现;但是在同等氮施用水平下,随着 PASP-Zn 用量的增加,氮的偏生产力仅有小幅度的提升,说明 PASP-Zn 用量 1.5 kg·hm⁻²即能有效提高氮素的利用效率。

表 3 不同 PASP-Zn 用量对夏玉米氮肥利用的影响

处理		氮素净积累量(对应处理-CK1)/(kg·hm ⁻²)			氮收获指数/%	氮偏生产力/ (kg·kg ⁻¹)
		秸秆	籽粒	整株		
常规	T1	31.91±0.32 ab	19.75±0.18 ab	51.66±0.54 ab	38.23±0.31 ab	51.54±0.54 c
	T2	33.00±0.34 a	20.77±0.21 a	53.77±0.56 a	38.63±0.30 ab	53.49±0.57 c
	T3	32.63±0.33 a	21.21±0.23 a	53.84±0.54 a	39.39±0.42 a	54.63±0.56 c
减肥 15%	T4	29.33±0.31 c	18.23±0.19 c	47.56±0.52 c	38.33±0.37 ab	57.46±0.62 b
	T5	30.80±0.34 bc	18.31±0.23 bc	49.11±0.47 bc	37.28±0.32 b	58.51±0.63 b
	T6	31.66±0.29 b	18.56±0.19 b	49.97±0.50 b	37.14±0.39 b	59.01±0.64 b
减肥 30%	T7	25.90±0.27 e	16.94±0.17 e	42.84±0.43 e	39.54±0.47 a	68.17±0.59 a
	T8	27.26±0.30 d	17.33±0.20 d	44.59±0.46 d	38.87±0.52 ab	70.24±0.68 a
	T9	27.71±0.29 d	17.48±0.21 d	45.19±0.42 d	38.68±0.30 ab	69.39±0.67 a
	CK	27.14±0.37 de	17.16±0.24 de	44.30±0.49 de	38.74±0.73 ab	47.92±0.82 d

2.2.2 磷肥利用 由表 4 可知,磷素净积累量(对应处理总磷量-CK2 磷积累量,下同)呈现以下规律:T1~T3 处理为 68.46~72.21 kg·hm⁻²、T4~T6 处理为 63.08~65.56 kg·hm⁻²、T7~T9 处理为 59.68~60.87 kg·hm⁻²、CK 处理为 59.66 kg·hm⁻²;与 CK 相比,3 组磷素的净积累量分别提高了 14.75%~21.04%、5.73%~9.89%和 0.93%~2.03%。通过分析可知,磷素净积累量方面,T1~T6 处理显著高于 CK;T7~T9 处理与 CK 相比差异不显著。因此,在试验范围内,磷素常量施肥或减量 15%施肥时,PASP-Zn 用量 1.5 kg·hm⁻²对磷素净积累量即可取得很好的效果;而当减量 30%施肥时,PASP-Zn 用量>3.0 kg·hm⁻²,也没有得到显著的效果;上述结果与对氮素的效果一致。

磷收获指数方面,T1~T3 处理为 15.09%~15.36%、T4~T6 处理为 14.55%~14.92%、T7~T9 处理为 14.36%~14.46%、CK 处理为 14.49%;与 CK 相比,磷收获指数分别提高了 4.14%~6.00%、0.41%~2.97%、-0.90%~-0.21%。

通过分析可知,磷收获指数方面,T2~T3 显著高于 CK,其余处理差异不显著。由此可知,当减量 15%、30%施用磷肥时,PASP-Zn 用量的不同并未使得玉米植株(包括籽粒和秸秆)中的磷比例出现显著增加,而是通过促进植株干物质的积累促进了磷素吸收;同时也发现常量施磷时,PASP-Zn 用量>3.0 kg·hm⁻²会促进植株中磷含量的提高。

磷偏生产力方面,T1~T3 处理为 114.77~121.66 kg·kg⁻¹、T4~T6 处理为 127.94~131.13 kg·kg⁻¹、T7~T9 处理为 151.49~154.21 kg·kg⁻¹、CK 处理为 106.70 kg·kg⁻¹;与 CK 相比,磷偏生产力分别提高了 7.56%~14.02%、19.91%~22.90%、41.98%~44.53%。通过分析可知,磷偏生产力方面,各处理均显著高于 CK。由此可知,随着磷施用量的降低,PASP-Zn 促进磷素吸收的作用得到了很好的体现;但是在同等磷施用水平下,随着 PASP-Zn 用量的增加,磷的偏生产力仅有小幅度的提升,说明 PASP-Zn 用量 1.5 kg·hm⁻²就能有效提高磷素的利用效率。

表 4 不同 PASP-Zn 用量对夏玉米磷肥利用的影响

处理		磷素净积累量(对应处理-CK2)/(kg·hm ⁻²)			磷收获指数/%	磷偏生产力/ (kg·kg ⁻¹)
		秸秆	籽粒	整株		
常规	T1	58.13±0.53 b	10.33±0.12 b	68.46±0.65 b	15.09±0.16 ab	114.77±1.12 d
	T2	59.79±0.62 ab	10.85±0.12 ab	70.64±0.73 ab	15.36±0.15 a	119.09±1.23 cd
	T3	61.12±0.63 a	11.09±0.10 a	72.21±0.74 a	15.35±0.14 a	121.66±1.32 c
减肥 15%	T4	53.90±0.55 c	9.18±0.13 c	63.08±0.69 c	14.55±0.15 b	127.94±1.35 b
	T5	54.92±0.56 c	9.59±0.12 c	64.51±0.62 c	14.87±0.18 b	130.27±1.27 b

表 4 (续)

处理		磷素净积累量(对应处理-CK2)/(kg·hm ⁻²)			磷收获指数/%	磷偏生产力/ (kg·kg ⁻¹)
		秸秆	籽粒	整株		
减肥 30%	T6	55.78±0.49 bc	9.78±0.09 bc	65.56±0.67 bc	14.92±0.16 b	131.13±1.32 b
	T7	51.09±0.52 d	8.59±0.15 d	59.68±0.63 d	14.39±0.17 b	151.49±1.53 a
	T8	51.98±0.47 cd	8.79±0.14 cd	60.77±0.65 cd	14.46±0.13 b	152.85±1.52 a
	T9	52.13±0.54 cd	8.74±0.08 cd	60.87±0.62 cd	14.36±0.14 bc	154.21±1.63 a
	CK2	51.02±0.57 d	8.64±0.14 d	59.66±0.67 d	14.49±0.18 b	106.70±1.59 e

2.2.3 钾肥利用 由表 5 可知,钾素净积累量(对应处理总钾量-CK3 钾积累量,下同)呈现以下规律:T1~T3 处理为 39.01~42.51 kg·hm⁻²、T4~T6 处理为 36.79~38.30 kg·hm⁻²、T7~T9 处理为 33.43~35.36 kg·hm⁻²、CK 处理为 36.27 kg·hm⁻²;与 CK 相比,钾素的净增长率分别提高了 7.55%~17.20%、1.43%~5.60%、-7.83%~-2.51%。通过分析可知,钾素净积累量方面,T1~T3 处理显著高于 CK;T7~T8 处理显著低于 CK,其余处理与 CK 差异不显著。因此,在试验范围内,钾素常量施肥时,PASP-Zn 用量>1.5 kg·hm⁻²对钾素净积累量即可取得很好的效果;而当减量施肥 15%、30%施肥时,PASP-Zn 用量>4.5 kg·hm⁻²,才可能得到显著的效果;上述结果与对氮素、磷素的效果有很大差异。

钾收获指数方面,T1~T3 处理为 18.20%~18.79%、T4~T6 处理为 17.29%~17.65%、T7~T9 处理为 17.13%~17.80%、CK 处理为 17.21%;与 CK 相比,钾收获指数分别提高了 5.75%~9.18%、0.46%~2.56%、-0.46%~3.43%。通过分析可知,钾收获指数方面,T1~T3 显著高于 CK,其余处理与 CK 差异不显著。由此可知,当

减量 15%、30%施用钾肥时,PASP-Zn 用量的不同并未使得玉米植株(包括籽粒和秸秆)中的钾比例出现显著增加,而是通过促进植株干物质的积累从而促进了钾素吸收;同时也发现常量施钾时,PASP-Zn 用量>1.5 kg·hm⁻²会促进植株中钾含量的提高。

钾偏生产力方面,T1~T3 处理为 114.77~121.66 kg·kg⁻¹、T4~T6 处理为 127.94~131.13 kg·kg⁻¹、T7~T9 处理为 151.49~154.21 kg·kg⁻¹、CK 处理为 106.70 kg·kg⁻¹;与 CK 相比,钾偏生产力分别提高了 7.60%~14.02%、19.90%~22.90%、41.98%~44.53%。通过分析可知,钾偏生产力方面,各处理与 CK 相比差异显著。由此可知,随着钾施用量的降低,PASP-Zn 促进钾素吸收的作用得到了很好的体现;但是在同等钾施用水平(减量 15%、30%)下,随着 PASP-Zn 用量的增加,钾的偏生产力仅有小幅度的提升,说明 PASP-Zn 用量 1.5 kg·hm⁻²即能有效提高钾素的利用效率;而当常量施用钾的条件下,PASP-Zn 用量>3.0 kg·hm⁻²才能有效提高加速的利用率。

表 5 不同 PASP-Zn 用量对夏玉米钾肥利用的影响

处理		钾素净积累量(对应处理－CK3)/(kg·hm ^{－2})			钾收获指数/%	钾偏生产力/ (kg·kg ^{－1})
		秸秆	籽粒	整株		
常规	T1	31.91±0.34 b	7.10±0.08 b	39.01±0.38 b	18.20±0.19 ab	114.77±1.17 d
	T2	33.00±0.33 ab	7.64±0.07 ab	40.64±0.43 ab	18.79±0.20 a	119.09±1.09 cd
	T3	34.71±0.38 a	7.80±0.06 a	42.51±0.43 a	18.35±0.17 ab	121.66±1.24 c
减肥 15%	T4	30.43±0.32 c	6.36±0.08 c	36.79±0.39 c	17.29±0.17 c	127.94±1.30 b
	T5	30.80±0.34 c	6.60±0.09 c	37.40±0.35 c	17.65±0.18 bc	130.27±1.33 b
	T6	31.66±0.31 bc	6.65±0.04 bc	38.30±0.42 bc	17.35±0.19 c	131.13±1.34 b
减肥 30%	T7	27.70±0.32 de	5.73±0.06 de	33.43±0.30 de	17.13±0.15 c	151.49±1.48 a
	T8	28.35±0.34 d	6.14±0.07 d	34.49±0.37 d	17.80±0.20 bc	152.85±1.39 a
	T9	29.17±0.29 cd	6.19±0.10 cd	35.36±0.34 cd	17.52±0.21 bc	154.21±1.47 a
	CK	30.03±0.37 c	6.24±0.12 c	36.27±0.42 c	17.21±0.17 c	106.70±1.32 e

2.3 玉米产量

由表 6 可知,总鲜质量、平均穗鲜质量、产量方面,各处理均表现为增产,增产幅度 3.33%~21.31%,其中 T1~T6、T8~T9 显著高于 CK。通过对试验数据区组分析可知,在试验范围内,当养分施用量相同时(T1~T3、T4~T6、T7~T9),玉米产量随着 PASP-Zn 用量的增加而呈现上升趋势,但是不同 PASP-Zn 用量之间差异基本上不显著(T7 处理除外);而当 PASP-Zn 用量相同时(T1-T4-T7, T2-T5-T8, T3-T6-T9),玉米产量随着养分施用量增减出现以下变化:T1 与 T4、T2 与 T5 处理之间差异不显著,但都分别与 T7、T8 差异显著,证明施用 PASP-Zn 量为 1.5~3.0 kg·hm⁻² 条件下,减肥 15% 的情况下产量变化不明显;在减肥 30% 时产量出现较大波动,表现为 T3、T6 和 T9 三个处理之间差异显著,证明施用 PASP-Zn 量为 4.5 kg·hm⁻² 条件下,减肥 15% 和 30% 的情况下产量出现较大波动。由此可知,PASP-Zn 在不同

养分施用条件下都有优异的增产效果,在常量施肥或减肥 15% 条件下,1.5 kg·hm⁻² PASP-Zn 用量即可实现增产;但是在减肥 30% 条件下,应增加 PASP-Zn 的用量至 3.0 kg·hm⁻²。

千粒重方面,各处理均表现为增长,增幅 1.45%~11.89%,其中 T1~T6、T9 显著高于 CK。通过对试验数据区组分析可知,在相同养分条件(T1~T3、T4~T6、T7~T9)下,随着 PASP-Zn 用量的提高,千粒重变化并不明显。

穗粒数方面,各处理均高于 CK,增幅 1.40%~7.93%,其中 T1~T3 显著高于 CK。通过对试验数据区组分析可知,在相同养分条件(T1~T3、T4~T6、T7~T9)下,随着 PASP-Zn 用量的提高,穗粒数变化并不明显,而随着养分的增加穗粒数则开始出现相应的变化。由此可知,在试验条件下,PASP-Zn 对下玉米的增产主要是以对玉米千粒重的增加为主,以对穗粒数的影响为辅。

表 6 不同 PASP-Zn 用量对夏玉米产量的影响

处理		总鲜质量/kg	平均穗鲜质量/ (kg·株 ⁻¹)	平均穗产量/kg	标准产量/ (t·hm ⁻²)	千粒重/g	穗粒数/个
常规	T1	390.85±2.36 ab	0.316±0.005 ab	0.141±0.003 ab	11.62±0.110 ab	312.43±2.70 a	451±5 ab
	T2	395.31±2.72 ab	0.320±0.004 ab	0.142±0.010 ab	11.70±0.087 ab	314.25±3.05 a	454±7 ab
	T3	407.68±3.14 a	0.330±0.006 a	0.146±0.007 a	12.01±0.038 a	314.36±2.98 a	463±6 a
减肥 15%	T4	383.93±2.75 bc	0.310±0.005 bc	0.135±0.012 bc	11.14±0.102 bc	308.29±3.05 a	438±9 b
	T5	388.38±2.93 b	0.314±0.004 b	0.137±0.011 b	11.28±0.093 b	312.05±2.81 a	438±11 b
	T6	397.53±3.12 b	0.321±0.007 b	0.138±0.009 b	11.39±0.103 b	313.71±3.13 a	440±10 b
减肥 30%	T7	380.96±3.23 de	0.308±0.005 de	0.124±0.014 de	10.23±0.098 d	285.03±2.65 b	435±13 b
	T8	381.70±2.70 cd	0.309±0.005 cd	0.130±0.013 cd	10.74±0.085 c	296.59±2.76 ab	439±15 b
	T9	384.42±3.07 bc	0.311±0.007 bc	0.132±0.010 bc	10.90±0.100 c	300.14±2.90 a	440±14 b
CK		376.01±4.12 e	0.304±0.010 e	0.120±0.015 e	9.90±0.105 d	280.95±2.37 b	429±17 bc

3 讨论

玉米作为华北夏季主要作物之一,越来越在经济内循环中发挥着举足轻重的作用,根据其应用方向,夏玉米的收获主要包括籽粒产量和青储饲料两种方式;无论采用哪种收获方式,对玉米养分的要求都极高^[19-20]。但是近年来,华北地区夏玉米的种植在养分供给方面存在着很多问题:(1)施肥方式为底施磷钾,氮则采用底施加追肥的方式进行,在大多数情况下,这种施肥方式能够保证肥料养分的供给;但在过度干旱或过度涝害情况下,会造成肥料的大量固定或者淋溶流失,均会造成玉米生长后期养分的供给缺失^[21];(2)施肥种类多以化学肥料为主,不施或极少施用有机肥料,造成土壤中 C/N 比例失衡,导致土壤的酸化

和作物的亚健康状态^[22-23],影响光合作用和养分的转运;(3)极少施用中微量元素肥^[24-25],缺素现象日趋严重。

针对上述问题,本研究将 PASP-Zn 与复合肥以拌肥的方式进行底施,并应用于夏玉米种植中,通过对养分利用、产量和干物质积累^[26-27]等指标进行研究和分析,从而考察 PASP-Zn 在夏玉米种植中的综合效果。本研究发现在使用 PASP-Zn (施用量为 1.5~4.5 kg·hm⁻²) 后,常量施肥的 T1~T3 显著提高了,减量施肥处理的 T4~T9 也并未出现生长缓慢现象,说明 PASP-Zn 对干物质的积累有促进作用,其起效浓度为 1.5 kg·hm⁻²;同时在试验范围内(PASP-Zn 施用量为 1.5~4.5 kg·hm⁻²,常量或减肥 15% 或减肥 30%),华

北地区夏玉米的鲜质量、标准产量、千粒重、穗粒数等生产指标方面也有了明显的提升,实现了减肥不减产,这与前人的结论相近^[28-29]。在夏玉米种植过程中养分的利用方面,PASP-Zn 使用时的氮、磷、钾的净积累量和偏生产力都有了明显的提升,同时试验也证明 PASP-Zn 在低养分浓度供给(主要为氮、磷)下能增强作物对上述养分的利用效率,促使其从低浓度养分环境中汲取营养,其对氮、磷促进的使用量为常量和减量 15% 施肥 PASP-Zn $1.5 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,其对钾促进的使用量为常量施肥 PASP-Zn $1.5 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$;钾的养分利用方面仅在常量钾供给的条件($112.50 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)下施用 $>1.5 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 的 PASP-Zn,夏玉米对钾的吸收、转运和积累才有明显的改善;而当在养分减少情况下(15%、30%)在试验范围内的 PASP-Zn 用量均与 CK 结果相近,部分处理甚至会低于 CK。上述结果的产生与 PASP-Zn 的本身结构特点有很大的关系:(1) PASP-Zn 主体结构为 PASP,其本身具有螯合、分散的性能,能够活化土壤中被固定的中微量元素,从而释放 PO_4^{3-} 、 BO_3^{3-} 等;该产品为大分子物质(试验中应用的为 7.5 kDa 产品),在土壤中会缓慢分解,持续活化养分;(2) PASP-Zn 能够提供活性锌元素,经过缓慢吸收后为玉米提供足够的锌,促进了授粉率和穗粒数的改善;(3) PASP-Zn 能够促进作物氮代谢相关酶的活性,促进植株对氮(尤其是低浓度氮)的吸收和利用,从而提高了氮的利用,这与中国农业科学院的相关研究结果^[10,30]相似。

产量方面,PASP-Zn 对夏玉米的增产效果明显,推荐施用量为常量和减量 15% 施肥条件下 $1.5 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、减量 30% 施肥 $3.0 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 即可获得较好的效果;同时发现 PASP-Zn 对夏玉米的增产效果为其对千粒重和穗粒数的共同作用,在试验中,千粒重为主要增产因素,说明 PASP-Zn 在施用后促进了光合作用和作物养分的转移速率,这与干物质的积累比较类似;穗粒数为次要增产因素,说明 PASP-Zn 施用后一定程度上能够促进玉米的授粉,增加结实率。因此,农业从业者可以在华北地区种植过程中进行氮、磷肥的减施,配合使用 PASP-Zn 进行夏玉米的种植,降低种植成本。

由于受科研水平的局限,本研究并未对玉米籽粒中的中微量元素动态变化进行检测和分析,同时对 PASP-Zn 的作用机理未进行深入研究;同时本研究仅对 PASP-Zn 与复合肥料以拌肥方式进行外包装的产品做了相关指标的研究,而对

PASP-Zn 添加于复合肥料熔融态是否有效并未进行研究,后续会针对上述方向内容进行更深入的试验研究。

4 结论

研究发现,在试验范围内,PASP-Zn 能够有效地增加夏玉米干物质的积累速率、养分利用(主要为氮和磷),并能有效增加玉米产量。干物质积累方面,常量施肥处理的夏玉米干物质的积累速率增幅显著,减量施肥处理也并未出现大幅度减少,证明 PASP-Zn 的施用促进了作物对养分的利用效率;随着 PASP-Zn 用量的增加,夏玉米对氮、磷的吸收、转运和积累都有了明显的改善;产量方面,PASP-Zn 在不同养分施用条件下都有优异的增产效果,在常量施肥或减肥 15% 条件下, $1.5 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ PASP-Zn 用量即可实现增产;但是在减肥 30% 条件下,应增加 PASP-Zn 的用量至 $3.0 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。在试验条件下,PASP-Zn 对夏玉米的增产主要是对夏玉米千粒重的增加为主。

参考文献:

- [1] 周迎鑫,李玥峤,吕庆雪,等.玉米子粒主要营养成分合成调控研究进展[J].玉米科学,2023,31(2):59-66.
- [2] 王森培,赵颖文,许钰莎,等.中国玉米供需的耦合时空演变特征分析与应对策略[J/OL].西南农业学报,2023:1-13(2023-08-28)[2023-09-05].<https://kns.cnki.net/kcms/detail/51.1213.S.20230828.1609.004.html>.
- [3] 毛喜玲,殷淑燕,刘海红.1960-2020 年华北地区玉米单产对气候变化的响应[J].干旱区资源与环境,2022,36(10):193-200.
- [4] 姜德重.华北地区率先反弹 新玉米真的“稳”了? [N].粮油市场报,2019-10-17(A03).
- [5] 王学忠.不平衡施肥对夏玉米产量和肥料利用率的影响[J].农业科技通讯,2022(4):139-142.
- [6] 徐志刚,安宁.我国玉米市场调控的经验教训与优化建议[J/OL].玉米科学,2023:1-12(2023-01-30)[2023-09-05].<https://kns.cnki.net/kcms/detail/22.1201.s.20230130.1408.001.html>.
- [7] 刘海军,唐晓培,杨丽.极端降水引起的大面积夏玉米减产方法研究:以 2021 年河南“7·20”强降水事件为例[J].灌溉排水学报,2023,42(3):1-6.
- [8] 管玥,何奇璋,刘佳鸿,等.华北平原夏玉米干旱灾害的时空变化特征及危险性评估[J].水土保持研究,2023,30(2):267-273.
- [9] 丁秀玲.新型肥料硅肥在玉米上的应用与效果[J].基层农技推广,2023,11(8):67-70.
- [10] 司孝刚,彭星运,代应会,等.缓释复合肥料对玉米产量及土壤养分含量的影响[J].现代农业科技,2023(16):1-5.
- [11] 刘雄.缓释肥料对玉米生长性状及产量的影响[J].特种经济动植物,2022,25(3):16-17.
- [12] 崔吉晓,檀海斌,吴佳迪,等.微喷灌水肥一体化对河北夏玉米生长及产量的影响[J].玉米科学,2017,25(3):105-110.

- [13] 郑孟静,张丽华,董志强,等.微喷灌对夏玉米产量和水分利用效率的影响[J].核农学报,2020,34(4):839-848.
- [14] 唐会会,许艳丽,王庆燕,等.聚天门冬氨酸螯合氮肥减量基施对东北春玉米的增效机制[J].作物学报,2019,45(3):431-442.
- [15] 唐会会.聚天门冬氨酸(PASP)对东北春玉米氮素代谢的调控效应及其节氮机理[D].北京:中国农业科学院,2019.
- [16] 李维昆,刘彤,沈丽英,等.聚天门冬氨酸螯合锌的合成与表征[J].磷肥与复肥,2015,30(1):5-8.
- [17] 李小丹,朱丽琼,曾彩虹,等.凯氏定氮全定量、半定量法以及杜马斯燃烧法测定米糠粗蛋白优劣势比较[J].粮食加工,2022,47(5):122-126.
- [18] 尚峰.小麦籽粒中氮、磷、钾测定质量控制研究[J].安徽农学通报,2021,27(1):58-59.
- [19] 张志伟.玉米粉的营养复配及其加工品质改良研究[D].杨凌:西北农林科技大学,2020.
- [20] 项雅科,杨梦蝶,孙海澜,等.2种鲜食黑糯玉米营养成分及香气的比较[J/OL].中国粮油学报:1-17(2023-04-21)[2023-06-07].<https://doiorg/10.20048/j.cnki.issn/003-0147000187>.
- [21] 闫治斌,闫富海,马明帮,等.水肥一体化模式下多元水溶肥对制种玉米性状和效益的影响[J].农业科技与信息,2022,635(6):1-3,10.
- [22] 柴汕,李青松,高慧珊,等.有机肥等氮量替代化肥对豫南砂姜黑土区夏玉米生长及土壤理化性状的影响[J].河南师范大学学报(自然科学版),2023,51(5):122-130.
- [23] 刘忠祥,王晓娟,连晓荣,等.玉米碳水化合物分配机制研究进展与展望[J].寒旱农业科学,2023,2(3):197-202.
- [24] 张盼盼,乔江方,李川,等.叶面喷锌时期对不同基因型夏玉米干物质和锌素累积分布的影响[J].南方农业学报,2022,53(12):3400-3410.
- [25] 黄婷苗,詹昕,陆乃昆,等.叶喷有机硒对黑糯玉米硒吸收及籽粒花青素和铁锰铜锌的影响[J].作物学报,2023,49(10):2845-2853.
- [26] 钱慧杰.耕作方式对玉米干物质积累及籽粒形成的影响[J].特种经济动植物,2022,25(9):37-39.
- [27] 刘兴斌,马宗海,闫治斌,等.不同秸秆发酵还田对制种玉米田土壤肥力质量和玉米品质的影响[J].干旱地区农业研究,2022,40(5):230-241.
- [28] 刘苗.不同水平氮磷施肥对夏玉米产量和养分利用的影响[D].杨凌:西北农林科技大学,2022.
- [29] 杨茜,吴娜,赵匆,等.施锌对盐碱地玉米生理特性及籽粒锌含量的影响[J].中国农业科技导报,2022,24(9):166-176.
- [30] WANG Q Y,TANG H H,LI G Y,et al. Polyaspartic acid improves maize (*Zea mays* L.) seedling nitrogen assimilation mainly by enhancing nitrate reductase activity[J]. Agronomy, 2018,8(9):188.

Effects of Different Dosage of PASP-Zn on Summer Maize in North China

QIAO Zaoyan¹, LU Min², JIAO Yongkang³, ZHAO Longmei³, LI Wenxi³

(1. Shanxi Tianze Group Yongfeng Fertilizer Co., Ltd., Jincheng 048000, China; 2. Shijiazhuang Recycling Chemical Research Institute, Shijiazhuang 050000, China; 3. Hebei Think-Do Chemical Co., Ltd., Shijiazhuang 050000, China)

Abstract: In order to explore the effect of PASP-Zn application rate on reducing fertilizer application and increasing effectiveness during the planting process of summer maize, this study took Zhengdan 958 as the test sample, and took the application dosage of PASP-Zn and nutrient supply level as variables to conduct statistics and analysis on dry matter accumulation, nutrient utilization, and agronomic indicators related to maize yield of summer maize in North China. Research found that within the experimental range, an increase in the dosage of PASP-Zn can effectively increase the dry matter accumulation rate (The rate of increase T1-T9 were -0.58% $\sim 9.70\%$) and nutrient utilization (mainly nitrogen and phosphorus) of summer maize; The application of PASP-Zn can effectively increase maize yield (The rate of increase T1-T9 were 3.44% -20.42%), mainly increasing the thousand grain weight (The rate of increase T1-T9 were 6.83% -11.89%), and also improving the number of grains per ear (The rate of increase T1-T9 were 1.39% -7.93%). In the analysis of agronomic indicators related to nutrient utilization, the experiment found that under the conditions of conventional fertilization or weight loss of 15% , the dosage of $1.5\text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ PASP-Zn can achieve good results. However, under the condition of reduced fertilization of 30% , it was necessary to increase the dosage of PASP-Zn to $3.0\text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ to ensure its synergistic effect. Therefore, agricultural practitioners can reduce the application of nitrogen and phosphorus and use PASP-Zn in the process of summer maize planting in North China.

Keywords: PASP-Zn; dosage; summer maize; North China