



# 不同用量腐植酸水溶肥对制种玉米 生长、产量及种子性状的影响

熊玉坛<sup>1</sup> 党燕霞<sup>2, 3\*</sup> 段天江<sup>1, 2, 3</sup> 刘 强<sup>2, 3</sup> 马润东<sup>4</sup> 梁 飞<sup>1, 2, 3\*</sup>

1 伊犁师范大学资源与环境学院资源与生态研究所 伊宁 835000

2 新疆生产建设兵团第四师创锦农业开发集团有限公司 可克达拉 835219

3 伊犁师范大学伊犁河谷农业资源与环境实验室 伊宁 835000

4 伊犁师范大学生物科学与技术学院 伊宁 835000

**摘 要:** 为探究腐植酸水溶肥对制种玉米的应用效果与最佳施用量, 试验设置 3 个处理, 分别为 CK (不喷施腐植酸水溶肥的对照)、P1 (喷施 3.00 kg/hm<sup>2</sup> 腐植酸水溶肥) 和 P2 (喷施 7.50 kg/hm<sup>2</sup> 腐植酸水溶肥), 测定玉米生长、产量及种子性状的关键指标。结果表明, 不同用量腐植酸水溶肥均降低了玉米株高, 增大了茎粗和单株叶面积, 促进了水分和养分吸收, 提高了 SPAD 值。在生物量积累方面, 表现为 CK > P2 > P1; 而产量方面, 表现为 P1 > P2 > CK, 其中 P1 处理产量达 7258.01 kg/hm<sup>2</sup>, 较 CK 和 P2 处理分别增加了 29.12% 和 23.60%。在种子性状方面, 各处理种子几何平均直径差异不显著, 但喷施腐植酸水溶肥后种子长度略有缩短; P1 和 P2 处理的千粒重较 CK 分别显著增加了 6.21% 和 7.30%。综合分析表明, 腐植酸水溶肥在制种玉米栽培中, 推荐最佳喷施用量为 3.00 kg/hm<sup>2</sup>, 此时产量和经济效益均达到最优。

**关键词:** 制种玉米; 腐植酸水溶肥; 叶面喷施; 产量; 种子性状; 经济效益

中图分类号: TQ444.6, S513 文章编号: 1671-9212(2025)03-0021-07

文献标识码: A

DOI: 10.19451/j.cnki.issn1671-9212.2025.03.003

## Effects of Different Application Amount of Humic Acid Water-soluble Fertilizer on Growth, Yield and Seed Traits of Hybrid Seed Maize

Xiong Yutan<sup>1</sup>, Dang Yanxia<sup>2, 3\*</sup>, Duan Tianjiang<sup>1, 2, 3</sup>, Liu Qiang<sup>2, 3</sup>, Ma Rundong<sup>4</sup>, Liang Fei<sup>1, 2, 3\*</sup>

1 Institute of Resources and Ecology, School of Resources and Environment, Yili Normal University, Yining, 835000

2 Xinjiang Production and Construction Corps, the fourth Division Chuangjin Agricultural Materials Co. Ltd., Cocodala, 835219

3 Laboratory of Agricultural Resources and Environment in Yili Valley, Yili Normal University, Yining, 835000

4 College of Biological Science and Technology, Yili Normal University, Yining, 835000

**Abstract:** To investigate the effects and optimal application amount of humic acid water-soluble fertilizer (HA-WSF) on hybrid seed maize, a field experiment with three treatments was conducted: CK (control, no HA-WSF), P1 (foliar spray of 3.00 kg/hm<sup>2</sup> HA-WSF), and P2 (foliar spray of 7.50 kg/hm<sup>2</sup> HA-WSF). Key parameters of growth, yield and seed traits were measured. The results showed that HA-WSF treatments reduced plant height, increased stem diameter and leaf area, promoted water and nutrient uptake, elevated SPAD

[基金项目] 伊犁哈萨克自治州科技计划项目 (项目编号 YZD2024A02); 自治区“天池英才”青年博士人才项目 (项目编号 2025TCYCQNBS01); 国家自然科学基金资助项目 (项目编号 32360444)。

[收稿日期] 2025-02-20

[作者简介] 熊玉坛, 男, 2003 年生, 本科在读, 专业为自然地理与资源环境, E-mail: 3494192507@qq.com。\* 通讯作者: 党燕霞, 女, 农艺师, E-mail: 2357031834@qq.com; 梁飞, 男, 研究员 / 博士生导师, E-mail: liangfei3326@126.com。

values. In terms of biomass accumulation, the order was CK>P2>P1. However, for yield, the trend reversed with P1>P2>CK. The P1 achieved the highest yield of 7258.01 kg/hm<sup>2</sup>, representing increases of 29.12% and 23.60% compared to CK and P2, respectively. In terms of seed traits, seed average diameter showed no significant differences in each treatments, though a slight reduction in seed length was observed after HA-WSF application. Compared to CK, the 1000-grain weight of P1 and P2 increased significantly by 6.21% and 7.30%, respectively. Comprehensive analysis revealed that the optimal application amount of HA-WSF was recommended as 3.00 kg/hm<sup>2</sup>, which maximized both yield and economic benefits in hybrid seed maize cultivation.

**Key words:** hybrid seed maize; HA-WSF; foliar spraying; yield; seed character; economic benefit

玉米作为全球重要的粮食、饲料作物，凭借其超高的总产量位居世界农作物之首，种植面积仅次于水稻和小麦。因其丰富的营养成分与保健功效，玉米一直享有“长寿食品”的美誉。腐植酸、腐植酸类肥料及其衍生产品在玉米种植上积累了丰富的研究成果，包括提高幼苗发芽指数<sup>[1]</sup>、促进玉米生长<sup>[2]</sup>、增加玉米产量<sup>[3]</sup>、改善玉米品质<sup>[4, 5]</sup>、增强玉米根系活力和抗逆性<sup>[6]</sup>、增强秸秆和籽粒对养分的吸收<sup>[7]</sup>等，同时还能改善土壤结构、提升土壤保水保肥能力，为作物生长创造更加适宜的根际环境<sup>[8~10]</sup>。然而，目前国内研究多聚焦常规玉米品种，针对制种玉米的研究相对较少，尤其是对制种玉米种子质量影响的研究更为缺乏。制种玉米的种子质量直接关系到后续大田种植生长，而合理施肥则是保障制种玉米健康生长的关键措施，其最佳施用技术体系尚未建立。本研究设置不同腐植酸水溶肥施用量，在制种玉米3个生长期分别进行叶面喷施，探索不同施肥水平对制种玉米生长发育、产量形成及种子质量的影响，旨在筛选腐植酸水溶肥的最佳用量，以期为推动腐植酸水溶肥在制种玉米产业中的科学应用和精准推广提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验区域概况

试验于2024年4月—9月，在新疆伊犁哈萨克自治州可克达拉市64团9连(44° 07' N, 80° 37' E)进行；试验地属典型的干旱半干旱

大陆性气候，在玉米生育期内，平均气温22.50℃，总降水量120.10 mm。

### 1.2 供试材料

供试土壤：土壤类型为灰钙土，土壤电导率249.83 μS/cm、pH 8.60、碱解氮90.92 mg/kg、速效磷14.96 mg/kg、速效钾96.42 mg/kg。

供试肥料：腐植酸水溶肥(N ≥ 200.00 g/L、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ≥ 100.00 g/L、K<sub>2</sub>O ≥ 100.00 g/L、腐植酸 ≥ 80.00 g/L)，登记编号：农肥(2020)准字15590号，由河南农极客农业科技有限公司提供。

供试制种玉米：品种为“龙育168”(母本M504，父本T418)。父母本种植行比为1:6，即2行父本，12行母本，株距13.50 cm。父本种植密度2.12万株/hm<sup>2</sup>，母本种植密度12.70万株/hm<sup>2</sup>。

### 1.3 试验设计

试验设置3个处理：CK(对照)，不喷施腐植酸水溶肥；P1，喷施3.00 kg/hm<sup>2</sup>腐植酸水溶肥；P2，喷施7.50 kg/hm<sup>2</sup>腐植酸水溶肥。每个处理设3次重复，采用随机区组排列。各小区面积为140.00 m<sup>2</sup>，采用7条膜(膜长20.00 m)的铺设方式，行距配置为60.00 cm + 40.00 cm的宽窄行模式种植。在玉米拔节期、大喇叭口期、吐丝期，使用喷雾器进行3次叶面喷施腐植酸水溶肥，每次肥水混合液的总量均为300.00 kg/hm<sup>2</sup>。其他田间管理措施与当地种植习惯保持一致，其中氮、磷、钾用量分别为尿素(555.00 kg/hm<sup>2</sup>)、磷酸一铵(360.00 kg/hm<sup>2</sup>)、硫酸钾(300.00 kg/hm<sup>2</sup>)。

### 1.4 测定指标与方法

分别在拔节期、大喇叭口期与吐丝期喷施叶面



喷施腐植酸水溶肥 7 ~ 10 天后开展田间调查, 各小区随机选取 10 株母本 (定株) 进行调查, 测定以下指标。

株高: 采用卷尺测量玉米底部到顶端的垂直距离。

叶长与叶宽: 采用卷尺测量主茎叶片的最大长度与宽度。

单株叶面积: 计算公式<sup>[1]</sup>为:

$$\text{单株叶面积} = \sum_{n=1}^{\infty} (\text{长} \times \text{宽} \times 0.75)$$

叶绿素相对含量 (SPAD 值): 采用 SPAD-502 叶绿素仪, 每个处理随机连续选取 10 株玉米植株, 在拔节期和大喇叭口期选完全展开叶进行测定, 在吐丝期选苞叶进行测定。

植株生物量 (干重): 分别在大喇叭口期与吐丝期, 每个处理取母本地上植株 4 株, 在实验室洗净, 按器官 (穗、茎秆和叶片) 分类, 105.00 °C 杀青, 80.00 °C 烘干, 称重。

测产: 在玉米成熟期, 统计各小区有效株数和有效穗数。每小区随机选取 20 个果穗称鲜重并带回实验室风干至 14.00% 标准含水量, 计算单位面积产量。计算公式为: 折算干重比例 =  $(1.00 - \text{籽粒含水率}) / (1.00 - 0.14)$ ; 产量 ( $\text{kg}/\text{hm}^2$ ) = 穗重 / 1000 × 折算干重比例 × 穗数。

产量构成因素: 统计果穗穗行数、穗列数, 测量穗粗、穗长, 千粒重用电子天平 (精确到 0.01 g) 称重。

种子几何平均直径: 随机选取 20 粒种子, 使用精度为 0.01 mm 的游标卡尺分别测量每粒种子的长度 a、最宽处宽度 b 以及在腹部位置的厚度 c, 计算种子几何平均直径。计算公式为:

$$\text{种子几何平均直径} = \sqrt[3]{a \times b \times c}$$

经济效益 (元) = 产量 × 价格 - 水费 - 机力费 - 农药成本 - 其他肥料成本 - 人工成本 - 种子成本 - 地膜成本 - 滴灌系统设备折旧费 - 腐植酸水溶肥单价 × 施用量。

### 1.5 数据处理与分析

采用 SPSS1 6.0 与 Excel 2007 软件进行数据统计与分析; 运用 Origin 软件绘图; 采用 LSD 进行多重比较, 判定差异显著性 ( $P < 0.05$ )。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同用量腐植酸水溶肥对制种玉米母本生物学性状的影响

测定不同时期制种玉米的株高、茎粗、SPAD 值、单株叶面积等指标, 结果如图 1 所示。

在株高方面, 不同处理对不同生育时期玉米株高的影响不同。在拔节期, P1 和 P2 处理的玉米株高显著高于 CK, 但 P1 和 P2 处理间差异不显著; 进入大喇叭口期, P1 处理的玉米株高显著低于 CK, 与 P2 处理差异不显著; 到了吐丝期, P2 处理和 CK 的玉米株高显著高于 P1 处理, 其中 P2 处理较 P1 处理增长了 12.00%, 较 CK 增长了 2.00%。

在茎粗方面, 腐植酸水溶肥对玉米前期茎粗的影响较小, 在拔节期和大喇叭口期, 各处理间均无显著差异; 而在吐丝期, P2 处理较 CK 和 P1 处理分别显著增加了 9.00% 和 6.80%。这表明, 在玉米生长后期喷施腐植酸水溶肥不仅可以有效降低植株高度, 有利于玉米传粉顺畅; 同时可以增大植株茎粗, 为玉米植株健康生长提供更好的支撑, 增强其抗倒伏能力。

在 SPAD 值方面, 腐植酸水溶肥对拔节期的影响较小, 3 个处理无显著差异; 但到了大喇叭口期和吐丝期, 情况发生了显著变化, SPAD 值的大小顺序为 P2 > P1 > CK; 在大喇叭口期, 3 个处理之间均达到显著差异; 在吐丝期, P2 处理的 SPAD 值较 CK 和 P1 处理分别显著增长了 16.00% 和 11.00%, P1 处理和 CK 之间无显著差异。

在单株叶面积方面, 腐植酸水溶肥在不同生育时期呈现出差异化的影响。在拔节期, 单株叶面积的大小顺序为 P1 > CK > P2; 在大喇叭口期, P1 > P2 > CK; 而在吐丝期, P2 > CK > P1, 其中 P2 处理较 CK 和 P1 处理分别显著增长了 18.00% 和 31.00%。

综上, 在生殖生长阶段 (拔节期至吐丝期), 高施用量的腐植酸水溶肥 (P2 处理) 对制种玉米株高、茎粗和光合作用有较强的促进效应, 且其影响在玉米吐丝期更为显著。

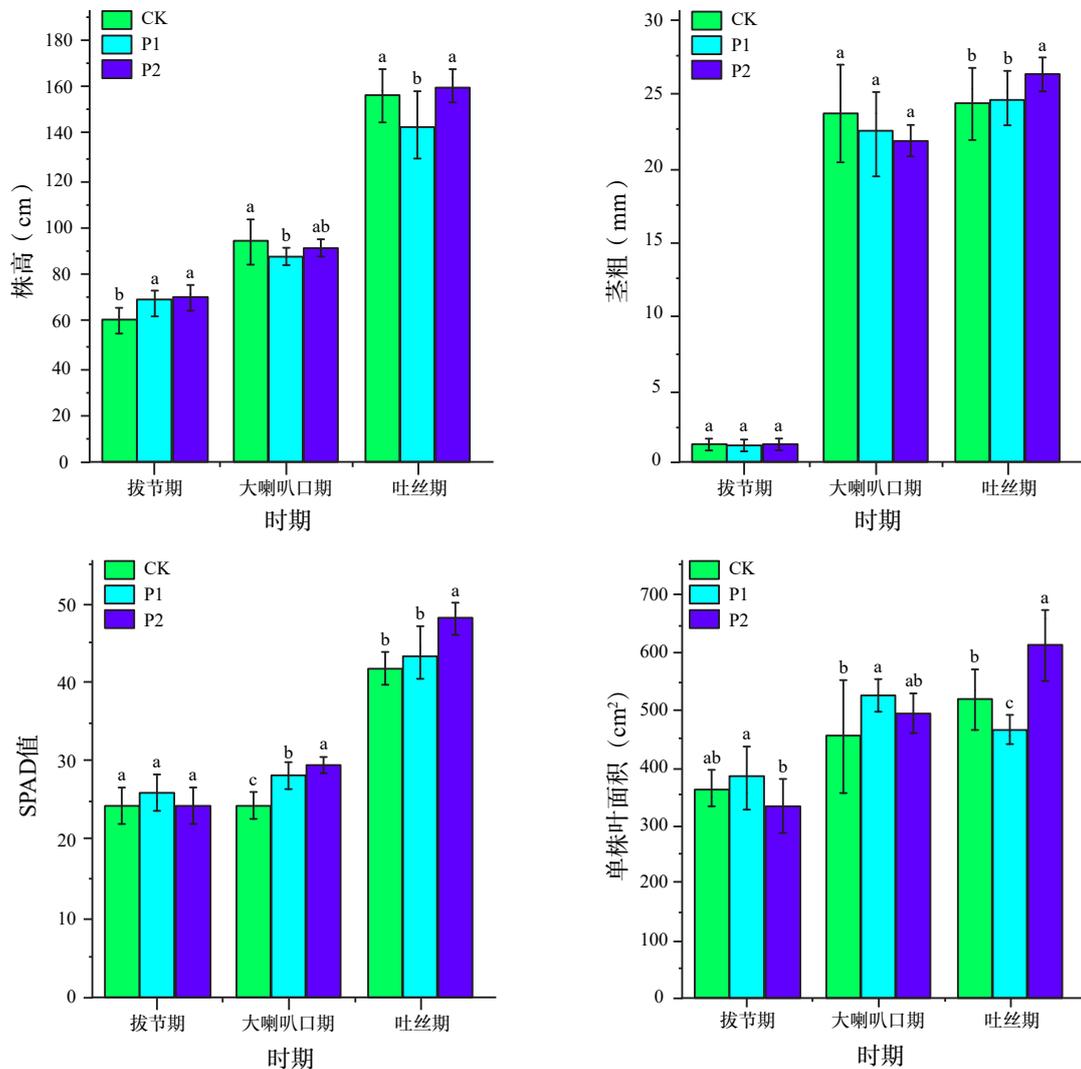


图 1 不同用量腐植酸水溶肥对制种玉米母本生物学性状的影响

Fig.1 Effects of different application amounts of humic acid water-soluble fertilizer on biological characteristics of hybrid seed maize mother

注：不同小写字母表示不同处理间差异显著 ( $P < 0.05$ )。

## 2.2 不同用量腐植酸水溶肥对制种玉米母本生物量的影响

在制种玉米母本生物量的测定中，将拔节期排除在外，着重聚焦于玉米生长的关键生育阶段，包括大喇叭口期、吐丝期。由表 1 可知，腐植酸水溶肥对制种玉米生物量积累的影响在不同生长时期和不同器官上有所不同。在大喇叭口期，玉米叶片重在 3 个处理间均无显著差异；在茎秆重方面，P2 处理较 CK 和 P1 处理分别显著增加了 3.70% 和 25.94%；在穗重方面，呈现出 CK > P2 > P1 的

规律，P1 和 P2 处理分别较 CK 显著减少了 24.10% 和 15.23%；在整体生物量方面，CK 和 P2 处理显著高于 P1 处理，较 P1 处理分别增长了 35.63% 和 38.29%。进入吐丝期，3 个处理的叶片重仍无显著差异，表明腐植酸水溶肥的施用未对叶片的物质积累产生明显作用；在茎秆重方面，CK 较 P2 处理显著增加了 51.51%，但 CK 与 P1 处理、P1 与 P2 处理间差异均不显著；在穗重方面，呈现出 P2 > CK > P1 的规律，P2 处理较 CK 和 P1 处理分别显著增加了 30.77% 和 96.38%；在整体生物量方面，



P2 处理较 CK 和 P1 处理分别显著增加了 1.96% 和 38.29%。综上所述, 喷施腐植酸水溶肥在一定程度上影响了玉米的生物量积累, 尤其是高施用量

的腐植酸水溶肥 (P2 处理) 在吐丝期穗重方面的促进作用更为明显, 这对玉米产量形成具有关键意义。

表 1 不同用量腐植酸水溶肥对制种玉米母本生物量的影响

Tab.1 Effects of different application amounts of humic acid water-soluble fertilizer on maternal biomass of hybrid seed maize mother

时间	处理	叶片重	茎秆重	穗重	生物量
大喇叭口期	CK	2995.06 ± 530.53a	5666.49 ± 938.13a	1512.10 ± 243.56a	10173.65 ± 1663.03a
	P1	2388.52 ± 270.26a	4666.15 ± 675.70a	1147.73 ± 137.63c	8202.40 ± 836.44b
	P2	2975.83 ± 380.89a	5876.40 ± 638.11b	1280.41 ± 196.89b	10132.63 ± 885.56a
吐丝期	CK	4658.80 ± 1376.23a	6572.90 ± 1928.93a	10618.93 ± 253.55b	21850.63 ± 2959.00b
	P1	3619.99 ± 1100.45a	5418.95 ± 1029.26ab	7071.09 ± 2719.66c	16110.02 ± 1922.38b
	P2	4054.24 ± 520.26a	4338.27 ± 914.25b	13886.43 ± 2106.95a	22278.94 ± 3172.98a

注: 同列不同小写字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ ), 下同。

### 2.3 不同用量腐植酸水溶肥对制种玉米产量的影响

由表 2 可知, 在玉米穗行数方面, 3 个处理表现为 P2 > P1 > CK, P2 较 P1、CK 分别显著增长了 97.65% 和 335.74%。在穗列数和穗长方面, 均以 P1 处理的平均值最大, 但各处理间差异均不显著。在穗粗方面, 3 个处理的表现均为 CK > P1 > P2, CK 较 P2 处理显著增长了 12.91%, 但 CK 与 P1 处理、P1 与 P2 处理间差异均不显著。在有效穗数方面, 3 个处理间均表现出显著差异, 从大到小依次表现为 P1 > P2 > CK, P1 较 CK 和 P2 处

理分别显著增长了 9.23% 和 3.52%。在产量方面, 3 个处理表现为 P1 > P2 > CK; 其中 P1 处理产量达 7258.01 kg/hm<sup>2</sup>, 较 CK 和 P2 处理分别显著增长了 29.12% 和 23.60%。综合来看, 喷施腐植酸水溶肥能够有效改善制种玉米的产量构成, 降低玉米穗粗, 显著提升玉米有效穗数, 显著提高玉米产量。值得注意的是, 并非腐植酸水溶肥的施用量越高, 玉米的产量就越高, 适宜的施用量 3.00 kg/hm<sup>2</sup> (P1 处理) 反而能够使玉米产量达到最大值。

表 2 不同用量腐植酸水溶肥对制种玉米产量构成因素及产量的影响

Tab.2 Effects of different application amounts of humic acid water-soluble fertilizer on yield components and yield of hybrid seed maize

处理	穗行数 (行)	穗列数 (列)	穗粗 (mm)	穗长 (cm)	有效穗数 (个/hm <sup>2</sup> )	产量 (kg/hm <sup>2</sup> )	增产率 (%)
CK	8.70 ± 1.88b	16.21 ± 1.03a	44.51 ± 2.06a	13.53 ± 0.60a	91040.93 ± 817.14c	5621.24 ± 968.90b	—
P1	19.18 ± 5.41b	18.81 ± 3.76a	42.00 ± 1.29ab	14.78 ± 0.92a	99450.98 ± 168.32a	7258.01 ± 294.57a	29.12
P2	37.91 ± 15.21a	17.97 ± 3.41a	39.42 ± 2.65b	14.68 ± 1.25a	95911.60 ± 816.55b	5802.72 ± 371.34b	3.23

### 2.4 不同用量腐植酸水溶肥对制种玉米种子性状的影响

由表 3 可知, 在种子长度方面, CK 显著大于 P2 处理, 表明高施用量的腐植酸水溶肥 (P2 处

理) 可能在一定程度上抑制了种子长度的生长。在种子宽度、厚度和几何平均直径方面, 均以 P1 处理的平均值最大, 但各处理之间差异均不显著。在千粒重方面, P1 和 P2 处理较 CK 分别显著增加了

6.21%和7.30%。可见, 尽管各处理种子在几何平均直径方面差异不显著, 但喷施腐植酸水溶肥后种子长度呈减少趋势, 种子重量却显著增加。这种变

化可能与腐植酸水溶肥对种子内部物质分配和积累的调节作用有关, 通过增加重量, 在一定程度上提升了种子的品质饱和度和潜在的萌发能力。

表3 不同用量腐植酸水溶肥对制种玉米种子质量的影响

Tab.3 Effects of different application amounts of humic acid water-soluble fertilizer on the seed quality of hybrid seed maize

处理	长 (mm)	宽 (mm)	厚 (mm)	几何平均直径 (mm)	千粒重 (g)
CK	11.48 ± 0.26a	7.92 ± 0.30a	7.92 ± 0.32a	8.96 ± 0.20a	216.98 ± 10.40b
P1	11.11 ± 0.26ab	9.30 ± 2.38a	9.30 ± 0.30a	9.78 ± 0.34a	230.46 ± 7.00a
P2	10.76 ± 0.45b	8.41 ± 2.86a	8.41 ± 0.58a	9.13 ± 0.24a	232.82 ± 4.80a

### 2.5 不同用量腐植酸水溶肥对制种玉米经济效益影响分析

由表4可知, 在经济效益方面, 3个处理表现为 P1 > P2 > CK, P1处理的净收入达到了22336.07元/hm<sup>2</sup>, 较CK和P2处理分别显著增加了159.70%和86.60%; 但CK和P2处理间无显著

差异。经济效益大幅度的提升充分显示了喷施腐植酸水溶肥对提高制种玉米经济效益的显著效果, 也进一步说明并非腐植酸水溶肥施用量越高, 经济效益就越好。施用量为3.00 kg/hm<sup>2</sup> (P1处理) 时, 既能实现产量的最大化, 又能保证最佳的经济效益。

表4 不同用量腐植酸水溶肥处理对制种玉米经济效益的影响

Tab.4 Effects of different application amounts of humic acid water-soluble fertilizer on economic benefit of hybrid seed maize

处理	腐植酸水溶肥成本	总收入	净收入
CK	0.00	39348.68 ± 6782.29b	8598.68 ± 6782.29b
P1	120.00	50806.07 ± 2062.00a	22336.07 ± 2062.00a
P2	300.00	41104.11 ± 2599.38b	12454.11 ± 2599.38b

注: 玉米种子单价: 11.00元/kg, 用种量75.00 kg/hm<sup>2</sup>, 种子成本合计825.00元/hm<sup>2</sup>; 灌溉水费2175.00元/hm<sup>2</sup>, 机力费7950.00元/hm<sup>2</sup>, 农药成本2400.00元/hm<sup>2</sup>, 其他肥料成本10650.00元/hm<sup>2</sup>, 人工成本2400.00元/hm<sup>2</sup>, 地膜成本1350.00元/hm<sup>2</sup>, 团场滴灌设备折旧费1800.00元/hm<sup>2</sup>。

### 3 结论

本试验中, 叶面喷施腐植酸水溶肥可显著优化制种玉米植株性状, 通过降低株高减少倒伏风险, 同时显著增加茎粗、SPAD值和单株叶面积, 有效促进玉米植株的健康生长。在产量方面, P1处理的玉米产量最高, 达到7258.01 kg/hm<sup>2</sup>, 较CK增长了29.12%, 表明腐植酸水溶肥能够显著提高制种玉米的产量。经济效益分析表明, P1处理的净收入最高, 达到22336.07元/hm<sup>2</sup>, 较CK增长了159.70%, 进一步证实了腐植酸水溶肥在提高制种玉米产量和经济效益方面的显著效果。在腐植酸用

量方面, 尽管P2处理腐植酸施用量高于P1处理, 但产量和经济效益均低于P1处理, 说明过量施用腐植酸水溶肥不仅无法持续增产, 反而可能抑制生长。综合本次试验各项数据结果, 在制种玉米的种植过程中采用叶面喷施腐植酸水溶肥时, 推荐施用量3.00 kg/hm<sup>2</sup>为宜。

### 4 讨论

本试验中, 喷施3.00 kg/hm<sup>2</sup>腐植酸叶面肥的制种玉米的产量最高, 而喷施腐植酸用量达到7.50 kg/hm<sup>2</sup>时产量反而降低, 这一结果与前人研



究结果相近。王红等<sup>[5]</sup>研究表明,当黄腐酸钾喷施浓度低于 133.00 mg/L 时,夏玉米穗粒数、千粒重、产量均表现出随喷施浓度的增加而增加的趋势;当浓度超过 133.00 mg/L 后,夏玉米穗粒数、千粒重、产量均表现出随浓度增加而逐渐降低的趋势。张宝冲等<sup>[12]</sup>研究也证实,施用腐植酸可使玉米的单位面积穗数、穗粒数、千粒重平均提高 17.40%、5.20%、4.30%,玉米产量平均提高 8.0%,但其增产效果随腐植酸添加量的增加而减弱。张宝冲等<sup>[12]</sup>、黄仲远<sup>[13]</sup>分析其原因可能是随着腐植酸叶面肥用量的增加,后期玉米的营养生长仍然旺盛,导致大量养分滞留于茎叶等营养器官,从而影响了干物质向籽粒转移,最终限制了产量提升。这一解释与本试验中高施用量处理下玉米植株形态及生物量分配的变化趋势相呼应,进一步佐证了腐植酸水溶肥需科学控制施用量的必要性。

另外,本研究结果以 P1 处理的净收益最高,为 22336.07 元/hm<sup>2</sup>,较 CK 和 P2 处理分别显著增加了 159.70% 和 86.60%,经济效益优势极为显著。值得注意的是,该收益核算已纳入滴灌设备折旧、租地等全周期成本,若不考虑此类固定摊销与非生产性支出,P1 处理的盈利空间将进一步扩大,凸显了腐植酸水溶肥在制种玉米生产中的高回报率与应用潜力。

本试验初步揭示了腐植酸水溶肥对制种玉米生长发育及产量的积极影响,为该肥料在制种玉米生产中的科学应用提供了参考。然而,若要促使这一研究成果转化为更广泛的区域推广应用,深度融入制种玉米产业的生产实践,切实推动整个产业高质量发展,仍需在作用机制、区域差异、施用量、喷施时间以及与其他农业投入品协同增效等多个关键领域,进一步开展系统性研究。

### 参考文献

- [1] 梁龙. 腐植酸在循环农业中发展前景初探[J]. 腐植酸, 2010(4): 1~5.
- [2] Ban Z X, Zhang Y Q, Han W Q, et al. Artificial rice straw-derived humic acids obtained via extraction with highly concentrated alkali solutions or precipitation at lower pH levels exhibit reduced biological activity in promoting maize growth and nitrogen uptake[J]. *Industrial Crops & Products*, 2025, 226: 120630.
- [3] Li G, Shan Y Y, Nie W B, et al. Humic acid improves water retention, maize growth, water use efficiency and economic benefits in coastal saline-alkali soils[J]. *Agricultural Water Management*, 2025, 309: 109323.
- [4] 苏丹, 于畅, 卢维宏, 等. 腐植酸助推农业低碳绿色转型[J]. 腐植酸, 2022(1): 18~23, 26.
- [5] 王红, 李放, 宋东涛, 等. 叶面喷施黄腐酸钾对夏玉米产量的影响[J]. 山东农业科学, 2014, 46(8): 87~89, 92.
- [6] 张水勤, 袁亮, 林治安, 等. 腐植酸促进植物生长的机理研究进展[J]. 植物营养与肥料学报, 2017, 23(4): 1065~1076.
- [7] Chauhan A, Patel I N, Chaudhary H K, et al. Impact of organic manures and humic acid on nutrient dynamics and crop performance in pearl millet-chickpea cropping system[J]. *International Journal of Plant & Soil Science*, 2024, 36(12): 171~188.
- [8] Xu Y, Li M, Ding H Q, et al. Comparative effects of humic acid biostimulation on soil properties, growth, and fragrance of *Rosa rugosa*[J]. *Industrial Crops & Products*, 2025, 225: 120444.
- [9] 黄占斌, 郝文静, 冯泽坤, 等. 腐植酸在土壤改良和污染修复中的应用现状及研究展望[J]. 水土保持通报, 2022, 42(2): 354~361, 376.
- [10] 王倩姿, 王玉, 孙志梅, 等. 腐植酸类物质的施用对盐碱地的改良效果[J]. 应用生态学报, 2019, 30(4): 1227~1234.
- [11] 王来刚, 徐建华, 贺佳, 等. 基于无人机遥感的玉米叶面积指数与产量估算[J]. 玉米科学, 2020, 28(6): 88~93.
- [12] 张宝冲, 任志杰, 田艳艳, 等. 我国小麦和玉米施用腐植酸效果的整合分析[J]. 植物营养与肥料学报, 2024, 30(12): 2318~2330.
- [13] 黄仲远. 不同植物生长调节剂和叶面肥对玉米产量的影响[J]. 现代农业科技, 2021(3): 27~28.