

# 不同分子量改性聚天门冬氨酸对空心菜生长的影响

方 婕, 陈 骏, 汪秋云, 胡婷婷, 王 孟, 王梦娣

中盐安徽红四方肥业股份有限公司, 安徽 合肥

收稿日期: 2023年7月3日; 录用日期: 2023年8月1日; 发布日期: 2023年8月8日

## 摘 要

本文通过水培试验, 研究复合肥料中添加不同分子量改性聚天门冬氨酸对空心菜根系生长、养分吸收、叶绿素及产量的影响, 以为含改性聚天门冬氨酸新型复合肥料在农业生产中的推广应用提供科学依据。结果表明: 复合肥料中添加不同分子量改性聚天门冬氨酸均能促进空心菜根表面积、根体积、平均直径、根长、茎秆直径、根重和株重等各方面性状的提升, 高分子量的改性聚天门冬氨酸增效剂更有利于空心菜的生长及根系发育, 同时强化空心菜对氮磷钾养分的吸收。

## 关键词

改性聚天门冬氨酸, 分子量, 空心菜, 根系, 养分吸收

# Effect of Different Molecular Weight Modified Polyaspartic Acid on the Growth of Water Spinach

Jie Fang, Jun Chen, Qiuyun Wang, Tingting Hu, Meng Wang, Mengdi Wang

China Salt Anhui Hongsifang Fertilizer Co., Ltd., Hefei Anhui

Received: Jul. 3<sup>rd</sup>, 2023; accepted: Aug. 1<sup>st</sup>, 2023; published: Aug. 8<sup>th</sup>, 2023

## Abstract

This paper studied the effects of different molecular weight modified polyaspartate added to compound fertilizers on the root growth, nutrient absorption, chlorophyll and yield of spinach through hydroponic experiments, in order to provide scientific basis for the promotion and appli-

cation of new compound fertilizers containing modified polyaspartate in agricultural production. The results showed that the addition of different molecular weight modified polyaspartate in compound fertilizers could promote the improvement of root surface area, root volume, average diameter, root length, stem diameter, root weight and plant weight of *Brassica campestris*. The high molecular weight modified polyaspartate synergist was more conducive to the growth and root development of *Brassica campestris*, and at the same time enhanced the absorption of nitrogen, phosphorus and potassium nutrients by *Brassica campestris*.

## Keywords

Modified Polyaspartic Acid, Molecular Weight, Water Spinach, Root System, Nutrient Absorption

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

聚天门冬氨酸(Polyaspartic acid, PASP)是一种带有羧基侧链的聚氨基酸,具有极强的螯合、分散、吸附作用,对土壤养分离子的交换吸附力可达到土壤对离子吸附力的100多倍[1]。20世纪80年代,Wheeler教授等开始着手PASP工业化生产技术[2]。美国Donlar公司发明一种热聚合PASP的方法,率先实现了工业化生产[3]。德国Bayer公司采用马来酸及其衍生物在双螺杆挤压机中反应合成PASP[4]。至今,随着工艺、技术的升级,PASP作为一种新型的可生物降解的环境友好型高分子材料,作为肥料增效剂之一已经逐渐被应用在肥料生产中。

PASP分子量一定程度上影响其生物活性、稳定性及生物降解性。传统聚天门冬氨酸分子量较小,通常低于5000,应用效果较差。改性聚天门冬氨酸以马来酸酐为原料,经侧链改性,分子量增大,可在4000到15,000范围内实现调节,肥效持续有效期延长,田间应用效果更明显[5]。基于以往对PASP的研究进展,本研究制备了添加不同分子量改性聚天门冬氨酸复合肥料,通过开展空心菜水培试验,测定空心菜产量、根系指标、叶片叶绿素含量及植株氮、磷、钾含量,探讨不同分子量改性聚天门冬氨酸在空心菜上的应用效果,筛选改性聚天门冬氨酸增效剂使用的最佳分子量,以期新型肥料的研制创新及增效剂的筛选研究提供参考。

## 2. 材料与方法

### 2.1. 试验概况

试验于2022年6月在中盐安徽红四方肥业股份有限公司生测实验室进行。供试作物为柳叶空心菜,采用水培方式定植于生测培养杯中,40天后收获进行指标测定。供试肥料为复合肥料38%(27-4-5)中氯(中盐安徽红四方肥业股份有限公司生产)。供试增效剂为改性聚天门冬氨酸,分子量在3000~10,000范围内(中盐安徽红四方肥业股份有限公司研制)。

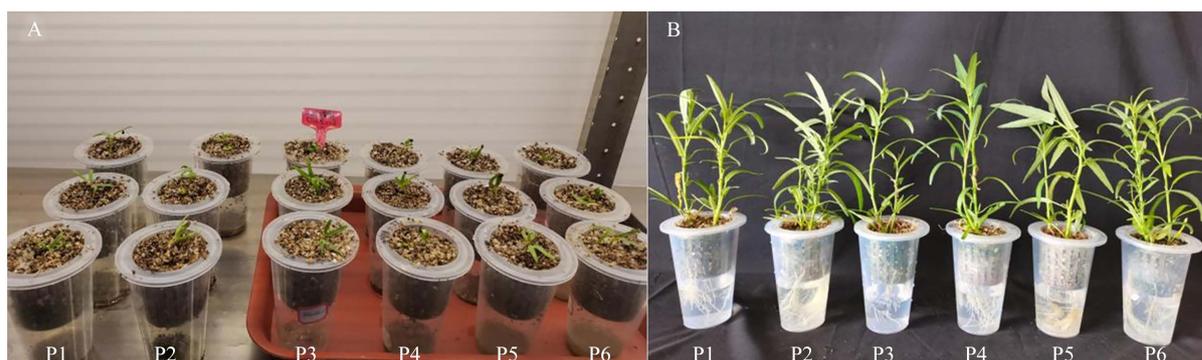
### 2.2. 试验设计

试验采用水培种植空心菜,试验共设计6个处理,以仅添加复合肥料培养液为对照(P1),根据改性聚天门冬氨酸的不同分子量,分别为3000、6000、8000、9000、10,000,按照分子量大小由低到高编号P2~P6,每个处理3次重复。不同试验处理具体见表1。

**Table 1.** Test treatment of modified polyaspartic acid with different molecular weight  
**表 1.** 不同分子量改性聚天门冬氨酸试验处理

序号	编号	处理
处理 1	P1	CK(复合肥料)
处理 2	P2	3000 分子量 PASP + 复合肥料
处理 3	P3	6000 分子量 PASP + 复合肥料
处理 4	P4	8000 分子量 PASP + 复合肥料
处理 5	P5	9000 分子量 PASP + 复合肥料
处理 6	P6	10,000 分子量 PASP + 复合肥料

如图 1 (A, B)所示, 在定植篮中先后放入纱网和部分掺混土, 挑选籽粒饱满、大小均匀的空心菜种子, 每个定植篮内放入 5 粒种子, 使种子被土壤充分覆盖并加入适量水分保持土壤湿润。后将培养杯放入生物培养箱内培养三天后放入等量增效液继续培养(培养箱参数设置: 白天 25℃, 晚上 15℃, 每天光照 15 h), 每天补充增效液一次。



**Figure 1.** Observation on the 5th day (A) and 20th day (B) of water spinach planting  
**图 1.** 空心菜种植第 5 天(A)、第 20 天(B)观测图

## 2.3. 测定指标

### 2.3.1. 根系指标及株高株重测定

空心菜根系用纯水清洗干净, 利用根系扫描仪得到根系扫描图片。利用 Win RHIZO 根系分析软件对扫描数据处理分析, 计算根表面积、根体积、根平均直径。随机选取具有代表性的空心菜 4 株, 以植株基部到顶端最高生长点距离测得空心菜平均株高, 以植株基部以上茎、叶重量测得平均株重。

### 2.3.2. 叶绿素的测定

使用 SPAD 叶绿素含量测定仪测量空心菜叶片叶绿素相对含量。

### 2.3.3. 养分含量测定

采用凯氏定氮法测定空心菜植株全氮含量, 分光光度计钒钼黄比色法测定植株磷含量, 火焰光度法测定植株钾含量。

## 2.4. 数据统计分析

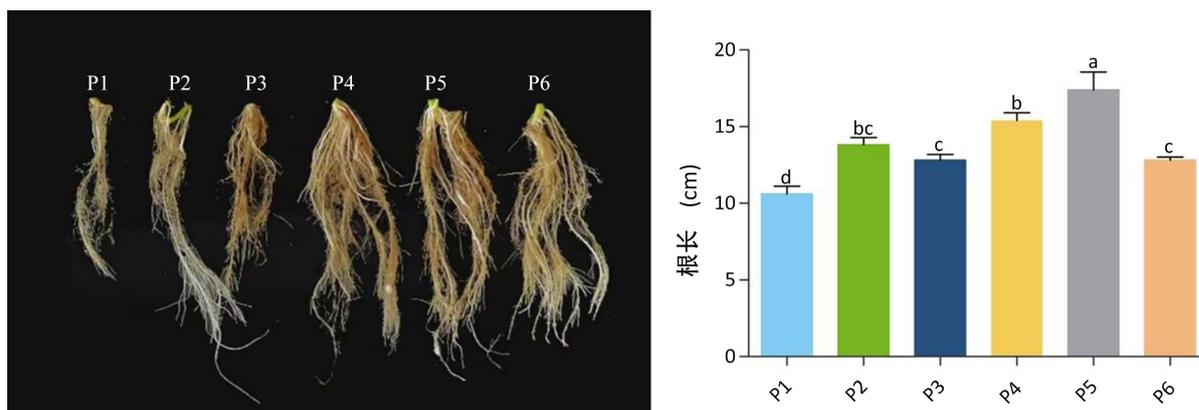
试验数据使用 Microsoft Excel 2009 进行数据整理和做表, 使用 GraphPad Prism 5 软件作图, 使用 SPSS23.0 软件进行单因素方差分析, 相关性分析采用 Pearson 双尾检验, 平均值多重比较采用 LSD 法进

行显著性检验( $P < 0.05$ )。

### 3. 讨论

#### 3.1. 不同分子量改性聚天门冬氨酸对空心菜根系的影响

如图 2 所示, 与对照(P1)相比, 复合肥添加不同分子量改性聚天门冬氨酸处理的空心菜根系发达, 根长显著增加, 添加高浓度改性聚天门冬氨酸处理的空心菜根系发育更加密集, P4 和 P5 处理对空心菜根长的影响显著高于其他处理, 说明改性聚天门冬氨酸分子量在 8000~9000 时, 可以很大程度上促进空心菜根系的生长和发育。



**Figure 2.** Effect of modified polyaspartic acid compound fertilizer with different molecular weight on root development and root length

**图 2.** 含不同分子量改性聚天门冬氨酸复合肥对根系发育及根长影响

通过根系扫描进一步分析复合肥中添加不同分子量改性聚天门冬氨酸对空心菜根系的影响。由表 2 可以看出, 添加不同分子量改性聚天门冬氨酸处理的空心菜根表面积、体积、平均直径均高于对照 (P1), 根系表面积与体积指标呈现出同样的增长规律:  $P5 > P6 > P4 > P2 > P3 > P1$ , 根系平均直径略有不同, 呈现出  $P5 > P4 > P6 > P2 > P3 > P1$  的增长规律, 添加高分子量改性聚天门冬氨酸对空心菜根系表面积、体积及平均直径有着明显的促进作用。P5 处理对空心菜根系影响显著高于其他处理, 同一施肥总量条件下, P5 处理空心菜根表面积、体积、平均直径较对照处理分别增加 75.15%、128.02% 和 28.33%。整体来看, 当改性聚天门冬氨酸分子量在 9000 (P5) 时, 能显著促进空心菜根系生长, 优化根系形态。

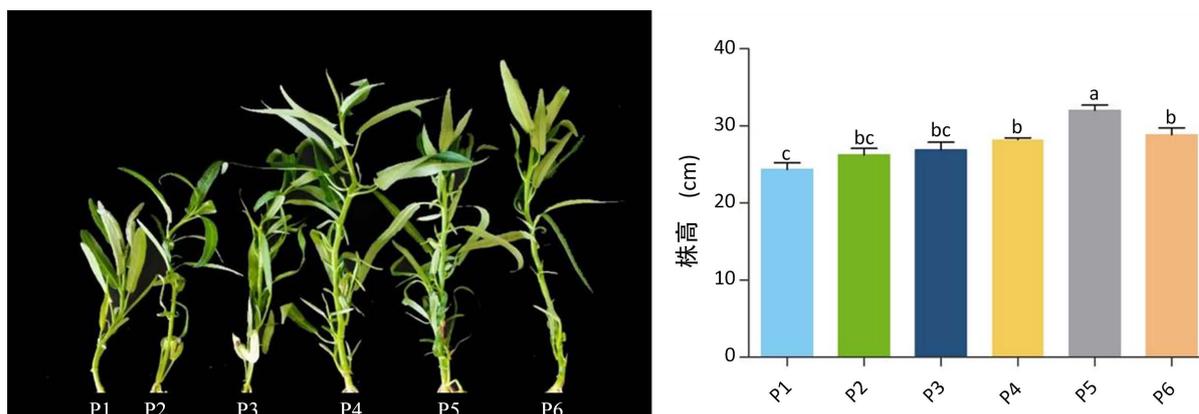
**Table 2.** Effect of modified polyaspartic acid compound fertilizer with different molecular weight on root system of water spinach

**表 2.** 含不同分子量改性聚天门冬氨酸复合肥对空心菜根系的影响

	表面积( $\text{cm}^2$ )	体积( $\text{cm}^3$ )	平均直径(mm)
P1	$161.25 \pm 4.68\text{f}$	$6.21 \pm 0.23\text{f}$	$0.60 \pm 0.08\text{c}$
P2	$174.63 \pm 4.94\text{d}$	$8.44 \pm 0.45\text{e}$	$0.72 \pm 0.09\text{ab}$
P3	$170.15 \pm 4.13\text{e}$	$7.29 \pm 0.42\text{d}$	$0.68 \pm 0.05\text{b}$
P4	$193.95 \pm 5.94\text{c}$	$10.42 \pm 1.08\text{c}$	$0.73 \pm 0.03\text{ab}$
P5	$282.43 \pm 5.59\text{a}$	$14.16 \pm 1.11\text{a}$	$0.77 \pm 0.06\text{a}$
P6	$222.21 \pm 5.22\text{b}$	$12.12 \pm 1.09\text{b}$	$0.72 \pm 0.04\text{ab}$

### 3.2. 不同分子量改性聚天门冬氨酸对空心菜株高的影响

如图 3 所示, 复合肥中添加不同分子量改性聚天门冬氨酸处理的空心菜植株生长旺盛。通过对植株株高进行测定, P5 处理空心菜株高最高, 与对照相比, 株高增长 31.47%。P4 和 P6 处理无显著差异, 株高较对照分别增长了 15.86%、18.49%, P2、P3 处理之间无显著差异。各处理对空心菜的株高与对照相比均有促进作用。



**Figure 3.** Effect of modified polyaspartic acid compound fertilizer with different molecular weights on plant development and plant height

**图 3.** 含不同分子量改性聚天门冬氨酸复合肥对植株发育及株高的影响

### 3.3. 不同分子量改性聚天门冬氨酸对空心菜鲜重的影响

表 3 分析可得, P5 处理的平均株鲜重显著高于其他处理, 较对照平均增产 114.23%。P4 处理株鲜重显著高于 P2、P3、P6 处理, 与对照相比分别增产 77.87%、18.97%、20.16%、51.38%。因此, 复合肥中添加不同分子量改性聚天门冬氨酸对空心菜具有不同程度增产效果。

**Table 3.** Effect of modified polyaspartic acid compound fertilizer with different molecular weight on fresh weight of water spinach

**表 3.** 含不同分子量改性聚天门冬氨酸复合肥对空心菜鲜重的影响

	P1	P2	P3	P4	P5	P6
地上部湿重(g)	19.9	23.5	24.1	33.7	41.5	29.5
根重(g)	5.4	6.6	6.3	11.3	12.7	8.8

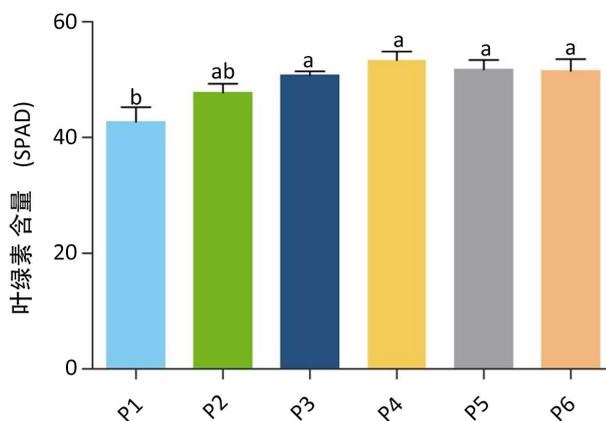
### 3.4. 不同分子量改性聚天门冬氨酸对空心菜叶片叶绿素含量的影响

不同处理空心菜叶绿素含量变化见图 4, 含不同分子量改性聚天门冬氨酸复合肥处理空心菜后, 与对照相比, 叶片中叶绿素含量均显著提升, 其中高分子量改性聚天门冬氨酸对空心菜叶片叶绿素提升具有明显的促进作用, P3、P4、P5、P6 处理叶绿素差异不明显, P4 处理空心菜叶片中叶绿素含量最高, 达 53.37, 相比对照处理叶绿素含量提高 24.99%。

### 3.5. 不同分子量改性聚天门冬氨酸对空心菜养分的影响

从表 4 可以看出, 对照处理全 N 含量最低, P2 处理全 N 含量与对照无显著差异, P5 处理全 N 含量为 41.23 g·kg<sup>-1</sup>, 显著高于对照及其他各组处理。P5 处理空心菜植株全 P 含量最高, P4 处理次之, P3 与 P6 处理全 P 含量无显著差异, 均高于 P2 及对照处理。随着改性聚天门冬氨酸分子量的提升, 空心菜植株

全 K 含量也不断增加, 含高分子量(8000~10,000)改性聚天门冬氨酸复合肥对空心菜全 K 含量提升效果最佳。



**Figure 4.** Effect of modified polyaspartic acid compound fertilizer with different molecular weights on chlorophyll content of water spinach

**图 4.** 含不同分子量改性聚天门冬氨酸复合肥对空心菜叶绿素含量的影响

**Table 4.** Effect of modified polyaspartic acid compound fertilizer with different molecular weights on the nutrients of water spinach

**表 4.** 含不同分子量改性聚天门冬氨酸复合肥对空心菜养分的影响

	全氮(g/kg)	全磷(g/kg)	全钾(g/kg)
P1	36.95 ± 0.93b	3.36 ± 0.22c	23.29 ± 0.87b
P2	37.34 ± 1.13b	3.41 ± 0.19c	23.35 ± 1.39b
P3	38.39 ± 2.60ab	3.43 ± 0.17bc	23.60 ± 1.85b
P4	38.45 ± 2.05ab	3.74 ± 0.06ab	27.2 ± 0.63a
P5	41.23 ± 1.58a	3.79 ± 0.15a	27.41 ± 2.12a
P6	39.26 ± 2.57ab	3.44 ± 0.20bc	28.14 ± 0.34a

#### 4. 总结

综合分析可得, 添加不同分子量改性聚天门冬氨酸的增效复合肥料在不同程度上促进空心菜植株和根系的生长, 优化根系形态, 提高根系吸收面积, 提升叶片中叶绿素含量, 促进空心菜对氮、磷、钾养分的吸收。添加高分子量(8000~10,000)改性聚天门冬氨酸对空心菜根系表面积、体积、平均直径、根长、株高、产量等有着明显的促进作用。

在本试验条件下, 当改性聚天门冬氨酸分子量为 9000 时, 空心菜根长 17.4 cm, 株高 32 cm, 植株全 N 含量为 41.23 g·kg<sup>-1</sup>, 全 P 含量 3.79 g·kg<sup>-1</sup>, 根表面积、体积、平均直径较对照处理分别增加 75.15%、128.02% 和 28.33%, 平均株鲜重较对照处理增加了 114.23%, 对空心菜生长和养分吸收的促进作用较好, 应用效果较佳。

#### 参考文献

- [1] 陈广辙, 刘影, 许焱炜, 等. 含聚天门冬氨酸肥料在水稻上的田间应用效果[J]. 中国盐业, 2020(22): 50-52.

- 
- [2] 杜中军, 杨浩, 王树昌, 等. 农用聚天门冬氨酸同源多肽研究进展[J]. 热带作物学报, 2011, 32(12): 2381-2384.
  - [3] 杨晋辉, 刘泰, 陈艳雪, 等. 聚天门冬氨酸/盐的合成、改性及应用研究进展[J]. 材料导报, 2018, 32(11): 1852-1862.
  - [4] 汪家铭. 聚天冬氨酸的生产应用与发展前景[J]. 上海化工, 2010, 35(3): 23-27.
  - [5] 倪承凡, 张富林, 吴茂前, 等. 聚天门冬氨酸尿素对稻田田面水氮素浓度及产量的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2020(6): 234-239.