

不同促根剂对西瓜幼苗生长及根系成团的影响

毛桂玲¹, 杨自豪¹, 程燎¹, 袁珊¹, 周家乐¹, 郭新玉¹,
李锦涛¹, 何薪奇¹, 刘广², 何长征^{1,3}, 戴思慧^{1,3}

(1. 湖南农业大学园艺学院 长沙 410128; 2. 江苏省农业科学院蔬菜研究所·
江苏省高效园艺作物遗传改良重点实验室 南京 210014; 3. 岳麓山实验室 长沙 410082)

摘要:为探讨促根剂对穴盘育苗根系成团的作用效果,以西瓜品种 SP100 为试材,通过喷施不同种类及浓度的促根剂,并以清水喷施为对照,分析 4 种促根剂对西瓜幼苗生长和根系成团的影响,以期筛选出有利于根系成团的促根剂及适宜浓度。结果表明,矿源黄腐酸钾、氨基酸水溶肥、枯草芽孢杆菌、吡啶·萘乙酸 4 种促根剂对西瓜幼苗以及根系的生长均有较好的促进作用,提高了西瓜幼苗株高、茎粗、叶片 SPAD 值以及植株干、鲜质量,加快了根系成团的速度。根据西瓜幼苗相关指标综合分析,4 种促根剂单独灌根施用的最佳质量浓度分别为:矿源黄腐酸钾质量浓度 1000 mg·L⁻¹、氨基酸水溶肥质量浓度 1000 mg·L⁻¹、枯草芽孢杆菌质量浓度 600 mg·L⁻¹、吡啶·萘乙酸质量浓度 80 mg·L⁻¹。通过灰色关联分析可知,这 4 种促根剂对西瓜幼苗生长及根系成团的促进效果最好的是 600 mg·L⁻¹ 的枯草芽孢杆菌,其次是 1000 mg·L⁻¹ 的氨基酸水溶肥。综上所述,600 mg·L⁻¹ 的枯草芽孢杆菌对西瓜幼苗生长和根系成团的促进效果最好。

关键词:西瓜;促根剂;幼苗生长;根系成团

中图分类号:S651

文献标志码:A

文章编号:1673-2871(2025)07-101-08

Effects of different root promoting agents on the growth and root clumping formation of watermelon seedlings

MAO Guiling¹, YANG Zihao¹, CHENG Liao¹, YUAN Shan¹, ZHOU Jiale¹, GUO Xinyu¹, LI Jintao¹, HE Xinqi¹, LIU Guang², HE Changzheng^{1,3}, DAI Sihui^{1,3}

(1. Horticulture College, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, Hunan, China; 2. Institute of Vegetable Crops, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences/Jiangsu Key Laboratory for Horticultural Crop Genetic Improvement, Nanjing 210014, Jiangsu, China; 3. Yuehushan Laboratory, Changsha 410082, Hunan, China)

Abstract: In order to investigate the effect of root promoting agents on the rooting of plug seedling, watermelon variety SP100 was used as the test material. Different types and concentrations of root-promoting agent were sprayed, and water spraying was used as control. The effects of four root-promoting agents on the growth and root clumping formation of watermelon seedlings were analyzed, with the aim of screening out the root-promoting agent and its appropriate concentration beneficial to root clumping. The results showed that four root promoting agents, namely mineral source potassium fulvic acid, amino acid water-soluble fertilizer, *Bacillus subtilis* and indole naphthalene acetic acid, had a good promoting effect on the growth of watermelon seedlings and roots. They increased the plant height, stem thickness, leaf SPAD value, and dry and flesh mass of watermelon seedlings, and accelerated the speed of root clumping. According to the comprehensive analysis of relevant indexes of watermelon seedlings, the optimal concentrations of the four kinds of root promoting agents were as follows: Mineral potassium fulvic acid of 1000 mg·L⁻¹, amino acid water-soluble fertilizer of 1000 mg·L⁻¹, *Bacillus subtilis* of 600 mg·L⁻¹, and indole naphthalene acetic acid of 80 mg·L⁻¹. Through grey relational analysis, it can be known that among these four root-promoting agents, the one with the best effect on the growth of watermelon seed-

收稿日期:2024-11-11;修回日期:2025-03-12

基金项目:国家西甜瓜产业技术体系项目(CARS-25);湖南省智能农机装备创新研发项目(ZLSS2023)

作者简介:毛桂玲,女,在读博士研究生,主要从事瓜豆类栽培育种研究。E-mail:mao1925981573@163.com

通信作者:戴思慧,女,教授,主要从事瓜豆类栽培育种研究。E-mail:daisihui@126.com

何长征,男,教授,主要从事西甜瓜育种研究。E-mail:hec@hotmai.com

刘广,女,副研究员,主要从事西甜瓜栽培育种研究。E-mail:liuguang_gj@163.com

lings and the clustering of roots is $600 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ *Bacillus subtilis*, followed by $1000 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ amino acid water-soluble fertilizer. In summary, $600 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ *Bacillus subtilis* has the best promoting effect on the growth of watermelon seedlings and the formation of root clumping.

Key words: Watermelon; Root promoting agent; Seedling growth; Root clumping

西瓜产业具有市场需求大、经济效益高、适应性强和产业链条长等优势,是推动农业发展和农民增收的重要力量。然而,随着我国农业领域“用工难”与“用工贵”的问题日益突出,给西瓜产业带来严峻挑战。因此,农业机械化 and 智能化成为解决现代农业发展困境的方式之一。随着现代农业机械化的发展,穴盘育苗移栽农机作业已经成为西瓜产业育苗移栽的研究方向^[1],西瓜的机械化移栽常常导致穴盘苗根系散团、根系受伤,而瓜类幼苗发新根的能力较弱,造成移栽成活率低,限制了西瓜机械化移栽的推广应用。为了提高西瓜的机械化移栽成活率,促进根系成团、减少移栽根系损伤是关键技术环节。根系成团主要受穴盘规格、育苗基质、育苗时间、水分管理、温度管理、施肥量等因素制约^[2]。促根剂可以促进植物根系生长,加速根系成团,促进植株生长,能够很好地解决西瓜育苗根系散团的问题。

矿源黄腐酸钾属于腐植酸肥料,具有较高的生理活性,不仅能提高土壤通透性,还能够促进作物根系发育,进而达到作物增产提质的效果^[3-4]。Jiao等^[5]发现,对产生连作障碍的烟草施用黄腐酸钾肥后,其连作障碍得到缓解,同时促进了烟草植株的生长和光合能力提高。氨基酸水溶肥有多种氨基酸,能够快速被植物吸收利用,为植物补充营养,促进根系生长^[6]。曹艳等^[7]发现,与常规水溶肥料相比,施用氨基酸水溶肥能够明显促进辣椒根系发育。枯草芽孢杆菌是一种微生物菌剂,具有改良土壤、促进根系吸收养分等作用,进而促进植物生长^[8]。曹彩红等^[9]发现,对番茄施加枯草芽孢杆菌后,其幼苗生长速度显著提高、干物质积累增加、根系活力增强。吲哚丁·萘乙酸是由吲哚丁酸和萘乙酸复配而成的一种植物生长调节剂,不仅能够调节植物生长,还能促进生根,进而促使植物生长^[10]。

目前,关于不同促根剂对西瓜幼苗生长及根系成团的研究较少,笔者以西瓜 SP100 为试材,研究矿源黄腐酸钾、氨基酸水溶肥、枯草芽孢杆菌、吲哚丁·萘乙酸 4 种促根剂对西瓜幼苗生长和根系成团的影响,以期筛选出有利于根系成团的促根剂及适宜浓度,为西瓜工厂化育苗提供技术指导,提高机械化移栽成活率。

1 材料与方法

1.1 材料

供试西瓜品种为 SP100,由湖南雪峰种业有限责任公司提供,吲哚丁·萘乙酸由许昌市建安区昌盛日化实业有限公司提供,矿源黄腐酸钾由山西林海腐殖酸科技有限公司提供,枯草芽孢杆菌由山东秀邦生物科技有限公司提供,氨基酸水溶肥由西班牙布兰特欧洲有限责任公司提供。

1.2 方法

田间试验于 2024 年 8 月 11 日至 9 月 15 日在湖南农业大学人民东路试验基地的塑料大棚中进行。

西瓜种子先浸种 5 h,然后放置于 $28 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 恒温箱中催芽。待种子露白播种至 50 孔穴盘后,放置在塑料大棚进行后续管理。待西瓜幼苗子叶展平时,使用不同浓度的促根剂进行灌根处理,对照组浇施清水,7 d 处理 1 次,共处理 3 次,每个处理 3 次重复,每个重复 10 盘西瓜幼苗。不同促根剂处理浓度见表 1。

表 1 不同促根剂处理以及浓度

Table 1 Different treatments and concentrations of root promoting agent

促根剂种类 Type of root promoting agent	处理 Treatment	$\rho/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$
清水对照 Clear water control	CK	
矿源黄腐酸钾 Mineral source	KY1	250
	KY2	500
	KY3	1000
氨基酸水溶肥 Amino acid water-soluble fertilizer	A1	667
	A2	1000
	A3	2000
枯草芽孢杆菌 <i>Bacillus subtilis</i>	KC1	300
	KC2	600
	KC3	1200
吲哚丁·萘乙酸 Indole-3-acetic acid	Y1	40
	Y2	80
	Y3	320

1.3 测定指标及方法

当西瓜幼苗使用第 3 次促根剂处理后 7 d,测定其株高、茎粗、叶片数、最大根长、地上干鲜质量、地下干鲜质量、SPAD 值等。每个重复选择长势均匀一致的植株 10 株,株高、最大根长用直尺测定,

茎粗用游标卡尺测定,叶片数用计数法(叶长 ≥ 2 cm)测定,并测定叶片 SPAD 值。每个重复选择 30 株测定地上干鲜质量、地下干鲜质量,并计算单株质量,干质量采用烘干法测定,烘箱中 105 °C 杀青 15 min 后,75 °C 烘干至恒质量。

西瓜幼苗促根剂第 1 次处理后 7 d(7 d)、第 2 次处理后 7 d(14 d)、第 3 次处理后 7 d(21 d),分别观察根系成团情况。根系成团分级标准为如下。

一级:根系在穴盘底部和周围形成非常紧密、完整的根团,从穴盘取出时,根系能保持完整的形状。

二级:根系形成较为紧密的团,但可能在根团边缘或底部有少量空隙,根团较完整,去除穴盘时大部分能保持形状,只有轻微松散的迹象。

三级:根系有团聚现象,但根系较松散,存在较多空隙,从穴盘取出时,根团容易散开。

四级:根系基本没有成团,呈松散状态。

壮苗指数=(茎粗/株高+地下干质量/地上干质量) \times 全株干质量。

1.4 灰色关联分析

以最优指标作为理想处理,西瓜幼苗株高最小值作为最优值,其他指标最大值作为最优值。灰色系统中各因素间的关联程度用关联度表示,关联度越大表明与理想处理的相似度越高。先在该系统中构建一个理想的参考处理,然后用各项生长指标

来构建参考数列 X_0 ,其中第 1 个值记为 $X_0(1)$,第 2 个为 $X_0(2)$,第 3 个为 $X_0(3)$,第 n 个为 $X_0(n)$,因此可表示成 $X_0=\{X_0(1),X_0(2),X_0(3)\dots X_0(n)\}$;再以参考处理的各项生长指标构建成比较数列 $X_i(i=0,1,\dots,4)$,且 $X_i=\{X_i(1),X_i(2),X_i(3)\dots X_i(n)\}$,其中 n 是评判指标数。灰色关联系数计算公式为:

$$\xi_{i(k)} = \frac{\min_i \min_k |X_0(k) - X_i(k)| + \rho \max_i \max_k |X_0(k) - X_i(k)|}{|X_0(k) - X_i(k)| + \rho \max_i \max_k |X_0(k) - X_i(k)|}$$

式中: $\xi_{i(k)}$ 表示第 i 个处理的第 k 个性状的灰色关联系数, ρ 表示为分辨系数,常规是取 0.5。

1.5 数据分析

采用 SPSS 23.0 软件进行试验数据相关指标的分析。

2 结果与分析

2.1 促根剂处理对西瓜幼苗生长的影响

2.1.1 矿源黄腐酸钾处理对西瓜幼苗生长的影响 由表 2 可知,相比于对照,不同浓度的矿源黄腐酸钾处理后西瓜幼苗的生长指标均有一定的促进作用。KY1、KY2、KY3 处理的西瓜幼苗株高均显著高于 CK,而处理 KY2 和 KY3 均显著高于 KY1,但二者之间的差异不显著。相比 CK,KY1、KY2 处理的西瓜幼苗的茎粗、全株干质量和叶片

表 2 矿源黄腐酸钾处理对西瓜幼苗生长的影响

Table 2 Effects of mineral source potassium fulvic acid on the growth of watermelon seedlings

处理 Treatment	株高 Plant height/cm	茎粗 Stem diameter/mm	叶片数 Leaves number	SPAD 值 SPAD value	全株鲜质量 Plant fresh mass/g	全株干质量 Plant dry mass/g
CK	4.20 c	3.21 b	3.33 a	34.90 b	2.38 b	0.26 b
KY1	4.57 b	3.29 b	3.39 a	35.11 b	2.46 b	0.35 ab
KY2	5.40 a	3.33 b	3.44 a	37.50 ab	2.79 a	0.39 ab
KY3	5.43 a	3.83 a	3.56 a	39.06 a	2.87 a	0.41 a

注:同列不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著。表 2~5 同。

Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant difference at 0.05 level. Table 2-5 as the same below.

SPAD 值的差异均不显著,KY1、KY2 和 KY3 处理在叶片数方面与 CK 均无显著差异,但 KY3 处理西瓜幼苗的茎粗、全株鲜质量和叶片 SPAD 值均显著高于 KY1 和 CK。相比 CK,KY1、KY2、KY3 处理西瓜幼苗的全株鲜质量(干质量)分别增加 3.36%、17.23%和 20.59%(34.62%、50.00%和 57.69%)。由此可知,1000 mg·L⁻¹矿源黄腐酸钾对西瓜幼苗生长的促进效果最好。

2.1.2 氨基酸水溶肥处理对西瓜幼苗生长的影响 由表 3 可知,相比 CK,不同浓度的氨基酸水溶

肥处理对西瓜幼苗的生长均有一定促进作用。A1、A2、A3 处理的西瓜幼苗株高均显著高于 CK,且 A2 处理显著高于 A1、A3 处理。A1、A2、A3 处理的西瓜幼苗的茎粗、全株干质量和叶片 SPAD 值均显著高于 CK,但各处理间均无显著差异。A1、A2、A3 处理与 CK 在叶片数和全株鲜质量之间差异不显著。相比 CK,A1、A2、A3 处理西瓜幼苗的全株鲜质量(干质量)分别增加 26.89%、55.04%和 28.99%(57.69%、88.46%和 61.54%)。由此可知,1000 mg·L⁻¹氨基酸水溶肥对西瓜幼苗生长的促进效果最好。

表3 氨基酸水溶肥处理对西瓜幼苗生长的影响

Table 3 Effects of amino acid water-soluble fertilizer treatment on the growth of watermelon seedlings

处理 Treatment	株高 Plant height/cm	茎粗 Stem diameter/mm	叶片数 Leaves number	SPAD 值 SPAD value	全株鲜质量 Plant fresh mass/g	全株干质量 Plant dry mass/g
CK	4.20 c	3.21 b	3.33 a	34.90 b	2.38 a	0.26 b
A1	5.24 b	3.71 a	3.67 a	43.01 a	3.02 a	0.41 a
A2	5.67 a	3.74 a	3.44 a	43.13 a	3.69 a	0.49 a
A3	5.43 b	3.69 a	3.44 a	42.93 a	3.07 a	0.42 a

2.1.3 枯草芽孢杆菌处理对西瓜幼苗生长的影响 由表4可知,相比CK,不同浓度的枯草芽孢杆菌处理对西瓜幼苗的生长指标均有一定的促进作用。KC2、KC3处理西瓜幼苗的株高与CK差异显著,而KC1处理与CK差异不显著,KC2和KC3处理间幼苗株高差异显著。与此同时,KC2、KC3处理的西瓜幼苗的茎粗、叶片SPAD值和全株干质量与CK差异显著,但两个处理之间差异不显著。KC1、KC2、KC3处理西瓜幼苗叶片数与CK差异不显著。相比CK,KC1、KC2、KC3处理西瓜幼苗的全株鲜质量(干质量)分别增加21.01%、47.06%和26.47%(50.00%、76.92%和69.23%)。由此可知,600 mg·L⁻¹枯草芽孢杆菌对西瓜幼苗生长的促进效

果最好。

2.1.4 吲丁·萘乙酸处理对西瓜幼苗生长的影响 由表5可知,相比CK,不同浓度的吲丁·萘乙酸(Y3除外)处理对西瓜幼苗的生长均有一定促进作用。Y1、Y2处理西瓜幼苗的株高与CK差异显著,且两处理间差异显著。Y2处理西瓜幼苗茎粗显著高于CK,而Y1处理与CK差异不显著,且两处理间差异显著。与此同时,Y1、Y2处理的西瓜幼苗的叶片SPAD值、全株鲜质量与CK差异显著,但两个处理之间差异不显著。相比CK,Y1、Y2处理西瓜幼苗的全株鲜质量(干质量)分别增加12.61%和18.07%(15.38%和34.62%)。由此可知,80 mg·L⁻¹吲丁·萘乙酸对西瓜幼苗生长的促进效果最好。

表4 枯草芽孢杆菌处理对西瓜幼苗生长的影响

Table 4 Effects of *Bacillus subtilis* treatment on the growth of watermelon seedlings

处理 Treatment	株高 Plant height/cm	茎粗 Stem diameter/mm	叶片数 Leaves number	SPAD 值 SPAD value	全株鲜质量 Plant fresh mass/g	全株干质量 Plant dry mass/g
CK	4.20 c	3.21 b	3.33 a	34.90 b	2.38 b	0.26 b
KC1	4.34 c	3.43 ab	3.50 a	36.25 ab	2.88 ab	0.39 a
KC2	5.22 a	3.75 a	3.78 a	38.50 a	3.50 a	0.46 a
KC3	4.76 b	3.64 a	3.61 a	37.98 a	3.01 ab	0.44 a

表5 吲丁·萘乙酸处理对西瓜幼苗生长的影响

Table 5 Effects of indole naphthalene acetic acid treatment on the growth of watermelon seedlings

处理 Treatment	株高 Plant height/cm	茎粗 Stem diameter/mm	叶片数 Leaves number	SPAD 值 SPAD value	全株鲜质量 Plant fresh mass/g	全株干质量 Plant dry mass/g
CK	4.20 c	3.21 b	3.33 a	34.90 b	2.38 b	0.26 b
Y1	5.01 b	3.30 b	3.55 a	35.39 a	2.68 a	0.30 ab
Y2	5.45 a	3.48 a	3.78 a	36.05 a	2.81 a	0.35 a
Y3	—	—	—	—	—	—

注:“—”表示Y3处理西瓜幼苗全部死亡,无数据,以下分析不再讨论此处理。

Note: “—” indicate all the watermelon seedlings treated with Y3 died. There is no data available. This treatment will not be discussed in the following analysis.

2.2 促根剂处理对西瓜幼苗根系成团的影响

由表6可知,KY1、KY2、KY3处理西瓜幼苗根鲜质量与CK有显著差异,处理KY2与KY3差异不显著,但与KY1均达到显著差异水平。KY3处理西瓜幼苗根干质量与CK差异显著,而KY1、

KY2处理与CK差异不显著。KY1、KY2、KY3处理西瓜幼苗最大根长与CK有显著差异,各处理间差异均达到显著水平。A2处理西瓜幼苗根鲜质量与CK有差异显著,处理A1、A3与CK差异不显著。A2处理根干质量与CK差异显著,A1、A3处

表6 促根剂处理对西瓜幼苗根系成团的影响

Table 6 Effects of root promoting agents treatment on root cluster formation of watermelon seedlings

促根剂 Root promoting agents	处理 Treatment	根鲜质量 Root fresh mass/g	根干质量 Root dry mass/g	最大根长 Maximum root length/cm	根系成团情况 Root cluster formation		
					7 d	14 d	21 d
矿源黄腐酸钾 Mineral source potassium fulvic acid	CK	0.21 c	0.02 b	11.33 d	四级 Level four	三级 Level three	二级 Level two
	KY1	0.26 b	0.03 ab	12.78 c	三级 Level three	二级 Level two	一级 Level one
	KY2	0.34 a	0.03 ab	13.88 b	二级 Level two	一级 Level one	一级 Level one
	KY3	0.37 a	0.04 a	15.10 a	二级 Level two	一级 Level one	一级 Level one
氨基酸水溶肥 Amino acid water-soluble fertilizer	CK	0.21 c	0.02 b	11.33 c	四级 Level four	三级 Level three	二级 Level two
	A1	0.30 bc	0.03 ab	12.40 b	二级 Level two	一级 Level one	一级 Level one
	A2	0.34 a	0.04 a	14.22 a	二级 Level two	一级 Level one	一级 Level one
	A3	0.26 bc	0.03 ab	12.89 b	二级 Level two	一级 Level one	一级 Level one
枯草芽孢杆菌 <i>Bacillus subtilis</i>	CK	0.21 b	0.02 b	11.33 b	四级 Level four	三级 Level three	二级 Level two
	KC1	0.29 a	0.03 ab	13.45 b	二级 Level two	一级 Level one	一级 Level one
	KC2	0.36 a	0.04 a	18.11 a	二级 Level two	一级 Level one	一级 Level one
	KC3	0.35 a	0.04 a	17.07 a	二级 Level two	一级 Level one	一级 Level one
吡啶·萘乙酸 Indole-3-acetic acid	CK	0.21 c	0.02 a	11.33 b	四级 Level four	三级 Level three	二级 Level two
	Y1	0.28 b	0.03 a	11.95 ab	三级 Level three	二级 Level two	一级 Level one
	Y2	0.33 a	0.03 a	12.28 a	三级 Level three	二级 Level two	一级 Level one

注:同列数据后不同小写字母表示相同促根剂不同浓度处理之间差异显著。

Note: Different lowercase letters after the data in the same column indicate significant difference between different concentrations treatment of the same root promoting agent.

理与 CK 差异不显著。处理 A1、A2、A3 最大根长与 CK 差异显著,处理 A2 与 A1、A3 差异显著,A1 与 A3 差异不显著。

KC1、KC2、KC3 处理西瓜幼苗根鲜质量与 CK 差异显著,各处理之间差异不显著。KC2、KC3 处理西瓜幼苗根干质量与 CK 差异显著,但 KC1 与 CK 无显著差异,各处理间差异均不显著。KC2、KC3 处理西瓜幼苗最大根长与 CK 差异显著,处理 KC1 与 CK、处理 KC2 和 KC3 均无显著差异。Y1、Y2 处理西瓜幼苗根鲜质量与 CK 差异显著,两处理间差异达到显著水平。Y1、Y2 处理西瓜幼苗根干质量与 CK 差异均不显著。处理 Y2 与 CK 在最大根长方面差异显著,处理 Y1 与 CK 差异不显著,两处理之间差异不显著。

各个处理西瓜幼苗根系成团在 21 d 均达到一级水平,而对照是二级,其中矿源黄腐酸钾处理 KY2、KY3 的西瓜幼苗在 14 d 时根系成团达到一级水平,而 KY1 在 21 d 时根系成团才能达到一级水平,氨基酸水溶肥和枯草芽孢杆菌处理的西瓜幼苗均在 14 d 时根系成团达到一级水平,而吡啶·萘乙酸处理的西瓜幼苗均在 21 d 时根系成团才达到一级水平。

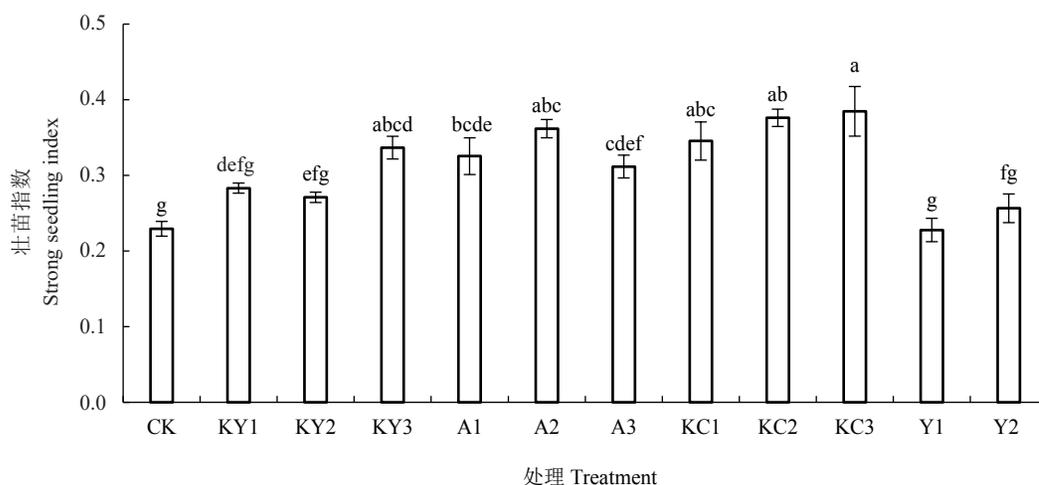
2.3 促根剂处理对西瓜幼苗壮苗指数的影响

由图 1 可知,各个促根剂处理的西瓜壮苗指数

(Y1 处理除外)均高于 CK。相比 CK,矿源黄腐酸钾处理(KY1、KY2、KY3)的西瓜壮苗指数分别提高 23.45%、18.13%和 46.77%,氨基酸水溶肥处理(A1、A2、A3)的西瓜壮苗指数分别提高 41.85%、57.72%和 35.88%,枯草芽孢杆菌处理(KC1、KC2、KC3)的西瓜壮苗指数分别提高 50.57%、63.95%和 67.70%,吡啶·萘乙酸处理 Y2 的西瓜壮苗指数提高 11.81%,而 Y1 降低了 0.70%。

2.4 不同促根剂处理间的灰色关联分析

不同促根剂处理的西瓜幼苗共选择 10 项生长指标进行灰色关联分析,用每一项的最优值构建一个参考处理 T,株高选择最小值,其他指标选择最大值。每个处理与参考 T 的相关性越显著,则该处理对西瓜幼苗的促生效果越好。在代入灰色关联系数公式进行计算前,先对每个处理及对照的 10 个指标进行无量纲化处理,从而算出各处理与参考处理的灰色关联系数,见表 7。根据关联度计算公式,可以算出西瓜幼苗每个处理的灰色关联度为: $r_{CK}=0.5354$, $r_{KY1}=0.5508$, $r_{KY2}=0.5830$, $r_{KY3}=0.7379$, $r_{A1}=0.6654$, $r_{A2}=0.7950$, $r_{A3}=0.6411$, $r_{KC1}=0.6388$, $r_{KC2}=0.8399$, $r_{KC3}=0.7923$, $r_{Y1}=0.4730$, $r_{Y2}=0.5290$,各处理关联度排序为 $KC2 > A2 > KC3 > KY3 > A1 > A3 > KC1 > KY2 > KY1 > CK > Y2 > Y1$ 。由此可知,相比 CK,600 mg·L⁻¹的枯草芽孢杆



注:不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著。

Note: Different lowercase letters indicate significant differences at 0.05 level.

图 1 促根剂处理对西瓜幼苗壮苗指数的影响

Fig. 1 Effect of root promoting agents treatment on the strong seedling index of watermelon seedlings

表 7 不同处理指标选取及测定值参考数据的构建

Table 7 Selection of different processing indicators and construction of reference data for measurement values

处理 Treatment	株高 Plant height/cm	茎粗 Stem diameter/mm	叶片数 Number of leaves	SPAD 值 SPAD value	根鲜质量 Root fresh mass/g	全株鲜质量 Plant fresh mass/g	根干质量 Root dry mass/g	全株干质量 Plant dry mass/g	最大根长 Maximum root length/cm	壮苗指数 Strong seedling index	r	排序 Rank
CK	4.20	3.21	3.33	34.90	0.21	2.38	0.02	0.26	11.33	0.23	0.535 4	10
KY1	5.43	3.69	3.39	35.11	0.26	2.46	0.03	0.35	12.78	0.28	0.550 8	9
KY2	5.40	3.33	3.44	37.50	0.34	2.79	0.03	0.39	13.88	0.27	0.583 0	8
KY3	5.43	3.83	3.56	39.06	0.37	2.87	0.04	0.41	15.10	0.34	0.737 9	4
A1	5.24	3.71	3.67	43.01	0.30	3.02	0.03	0.41	12.40	0.32	0.665 4	5
A2	5.67	3.74	3.44	43.13	0.34	3.69	0.04	0.49	14.22	0.36	0.795 0	2
A3	5.43	3.69	3.44	42.93	0.26	3.07	0.03	0.42	12.89	0.31	0.641 1	6
KC1	4.34	3.43	3.50	36.25	0.29	2.88	0.03	0.39	13.45	0.35	0.638 8	7
KC2	5.22	3.75	3.78	38.50	0.36	3.50	0.04	0.46	18.11	0.38	0.839 9	1
KC3	4.76	3.64	3.61	37.98	0.35	3.01	0.04	0.44	17.07	0.39	0.792 3	3
Y1	5.01	3.30	3.55	35.39	0.28	2.68	0.03	0.30	11.95	0.23	0.473 0	12
Y2	5.45	3.48	3.78	36.05	0.33	2.81	0.03	0.35	12.28	0.26	0.529 0	11
T	4.20	3.83	3.78	43.13	0.37	3.69	0.04	0.49	18.11	0.39		

菌(KC2)、1000 mg·L⁻¹的氨基酸水溶肥(A2)和1000 mg·L⁻¹的矿源黄腐酸钾(KY3)更有利于西瓜幼苗的生长。

3 讨论与结论

矿源黄腐酸钾含有羧基、酚羟基等活性官能团,能够与土壤中的氮、磷、钾等营养元素结合,形成络合物,使这些养分更容易被根系吸收,从而促进植株生长^[11]。在本研究中,施用不同浓度的矿源黄腐酸钾后,西瓜幼苗的株高、茎粗、叶片 SPAD 以及干、鲜质量等生长指标均有不同程度的增加,这

一研究结论和陈倩^[12]在烟草上和朗朗等^[13]在黄瓜幼苗上的研究结果一致。这些结果均能表明矿源黄腐酸钾能够促进植物生长发育,增强叶片光合作用,产生更多的有机物。氨基酸水溶肥富含多种植物生长所需的氨基酸,这些氨基酸可以被植物直接吸收利用,促进细胞分裂和伸长,有利于植株生长^[14]。宋远辉等^[15]研究表明,在茄子结果期喷施氨基酸水溶肥后能够显著提升茄子结果期的株高、茎粗、SPAD 值和单果质量。谢英添等^[16]研究表明,喷施含氨基酸的水溶肥,能够提高西瓜叶片叶绿素含量和产量,这与本研究中施用氨基酸水溶肥能够提

高西瓜幼苗地上部分相关指标值的结果一致。枯草芽孢杆菌能够产生出类似生长素、细胞分裂素的物质,刺激植物细胞的分裂和伸长,从而促进植株生长^[17]。安明哲等^[18]研究表明,枯草芽孢杆菌灌根能够提高盐胁迫下高粱幼苗株高、茎粗、地上部和地下部干质量,并显著提高抗氧化酶活性。石昇坤^[19]的研究表明,施用枯草芽孢杆菌可以改善土壤性质,进而提高番茄株高、根系活力与净光合速率。在本试验中,枯草芽孢杆菌处理提高了西瓜幼苗的株高、茎粗、SPAD值等生长指标,这与前人的研究结果一致。吡啶·萘乙酸主要是通过促进植物细胞的分裂和伸长来促使植株生长^[20]。贾新社等^[21]研究表明,在一定范围内吡啶·萘乙酸的浓度与杨树幼苗的根长、根鲜质量、根干质量和株高等表现为正相关;聂乐兴等^[22]的研究表明,吡啶酸的施用能够提高玉米茎粗、根系活力和穗位叶叶绿素含量,这与本研究中吡啶·萘乙酸能够促进西瓜幼苗生长的结果一致。由此可见,促根剂的施用能够促进西瓜幼苗地上部生长。

在工厂化育苗中,良好的根系发育是培育壮苗的关键。根系是植物吸收水分和养分的主要器官,健康发达的根系能够有效地从基质或土壤中吸收足够水分和各种养分以供植株健壮生长,培育壮苗。幼苗根系成团情况可以直观地看出根系生长的情况,还可以很大程度上决定集约化育苗运输的折损率、移栽后的成活率、缓苗期的长短等方面。在本研究中,选用的4种促根剂均能不同程度上促进西瓜幼苗的根系生长,加快幼苗根系成团的速度。外源黄腐酸钾可以增加根体积、根长和根系活性来改善番茄的根系特征^[23],也能够促进玉米根部的根伸长、侧根出现和增强质膜H⁺-ATP酶活性^[24-25],氨基酸水溶肥可改善土壤环境,提高土壤中养分的有效性,有利于根系对矿物质营养的吸收,进而促进根系的伸长,可以提高豆瓣菜地下部分的生物量^[26],提高辣椒的根系活力和干质量^[6]。在本研究中,促根剂处理后,西瓜幼苗地下部生长量增加,这与前人的研究结果相符。此外,笔者还对这4种促根剂促进西瓜根系成团效果进行了排序,结果表明效果最好的是枯草芽孢杆菌,其次是氨基酸水溶肥,为工厂化育苗生产中经常出现的根系不良问题提供了参考依据。此外,笔者只对4种促根剂单独使用西瓜幼苗进行了研究,未来的研究中仍需对促根剂之间是否有协调或拮抗作用进行深入的研究。

综上所述,矿源黄腐酸钾、氨基酸水溶肥、枯草

芽孢杆菌、吡啶·萘乙酸4种促根剂对西瓜幼苗以及根系生长均有较好的促进作用,增大了西瓜幼苗株高和茎粗、叶片SPAD值,提高了植株的干鲜质量,加快了根系成团的速度。根据西瓜幼苗相关指标综合分析,4种促根剂单独灌根施用的最佳质量浓度分别为矿源黄腐酸钾质量浓度1000 mg·L⁻¹、氨基酸水溶肥质量浓度1000 mg·L⁻¹、枯草芽孢杆菌质量浓度600 mg·L⁻¹、吡啶·萘乙酸质量浓度80 mg·L⁻¹。通过灰色关联分析可知,这4种促根剂对西瓜幼苗生长及根系成团的促进效果最好的是600 mg·L⁻¹的枯草芽孢杆菌。在未来的研究中,将进一步探索促根剂之间是否有协调或拮抗作用,以期为农业生产提供更全面的参考。

参考文献

- [1] 王果,刘德江,陈晓,等.西瓜甜瓜生产关键环节机械化现状、存在问题及发展建议[J].中国瓜菜,2021,34(12):118-124.
- [2] 柳雪,王湘银,李雪芳,等.氯盐胁迫下氮素对西瓜根系生长的调控作用[J].西北植物学报,2023,43(8):1359-1368.
- [3] 马晨阳.矿源黄腐酸钾对黄土理化特性及菠菜生长特征的影响研究[D].西安:西安理工大学,2024.
- [4] 王建恩.夏玉米/冬小麦矿源黄腐酸钾和腐植酸钾施用效应研究[D].郑州:河南农业大学,2024.
- [5] JIAO Y L, CHEN Q, GUO X M, et al. Effect of potassium fulvate on continuous tobacco cropping soils and crop growth[J]. Frontiers in Plant Science, 2024, 15: 1457793.
- [6] BAKPA E P, XIE J M, ZHANG J, et al. Influence of soil amendment of different concentrations of amino acid water-soluble fertilizer on physiological characteristics, yield and quality of Hangjiao No. 2 chili pepper[J]. PeerJ, 2021, 9: e12472.
- [7] 曹艳,于常海,张梦君,等.含腐殖酸和氨基酸水溶肥对辣椒根系、产量及果实品质的影响[J].肥料与健康,2024,51(3):39-42.
- [8] ARAUJO F F, BONIFACIO A, BAVARESCO L G, et al. *Bacillus subtilis* changes the root architecture of soybean grown on nutrient-poor substrate[J]. Rhizosphere, 2021, 18: 100348.
- [9] 曹彩红,张敬锁,田雅楠,等.促生菌剂对番茄幼苗生长的影响[J].中国农学通报,2024,40(1):33-37.
- [10] ELMONGY M S, CAO Y, ZHOU H, et al. Root development enhanced by using indole-3-butyric acid and naphthalene acetic acid and associated biochemical changes of *in vitro* azalea microshoots[J]. Journal of Plant Growth Regulation, 2018, 37(3): 813-825.
- [11] GHAZY M B M, EL-HAI F A, MOHAMED M F, et al. Potassium fulvate as co-interpenetrating agent during graft polymerization of acrylic acid from cellulose[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2016, 91: 1206-1214.
- [12] 陈倩.矿源黄腐酸钾肥对连作土壤性状及烟草生长发育的影响[D].山东泰安:山东农业大学,2024.

- [13] 郎朗,张星,李任丰,等.施用矿物源黄腐酸钾对黄瓜生长、产量及土壤的影响[J].腐植酸,2020(2):56-59.
- [14] BAKPA E P.氨基酸水溶肥对辣椒生长、生理和采后质量的影响[D].兰州:甘肃农业大学,2022.
- [15] 宋远辉,明家琪,黄金香,等.喷施不同叶面肥对茄子品质和产量的影响[J].中国瓜菜,2024,37(6):154-158.
- [16] 谢英添,马江黎,吴文丽,等.7种不同叶面肥对西瓜生长、产量和品质的影响[J].中国瓜菜,2021,34(12):63-67.
- [17] BAVARESCO L G, OSCO L P, ARAUJO A S F, et al. *Bacillus subtilis* can modulate the growth and root architecture in soybean through volatile organic compounds[J]. Theoretical and Experimental Plant Physiology, 2020, 32(2):99-108.
- [18] 安明哲,张岩,张好,等.枯草芽孢杆菌对盐胁迫下高粱种子萌发、幼苗生长及其生理特性的影响[J].山东农业科学,2022,54(12):81-90.
- [19] 石秉坤.蔬菜残株还田配施枯草芽孢杆菌对日光温室番茄产量、品质的影响[D].北京:中国农业科学院,2022.
- [20] LI S B, HUANG P, DING G C, et al. Optimization of hormone combinations for root growth and bud germination in Chinese fir (*Cunninghamia lanceolata*) clone leaf cuttings[J]. Scientific Reports, 2017, 7(1):5046.
- [21] 贾新社,袁文丽.萘乙酸·吡啶丁酸促进杨树生根试验[J].江苏农业科学,2017,45(4):96-99.
- [22] 聂乐兴,姜兴印,吴淑华,等.四种植物生长调节剂对高产玉米生理效应及产量影响[J].山东农业大学学报(自然科学版), 2010,41(2):216-220.
- [23] REN M F, MAO G L, ZHENG H B, et al. Growth changes of tomato seedlings responding to sodium salt of α -naphthalene acetic acid and potassium salt of fulvic acid[J]. Scientific Reports, 2023, 13(1):4024.
- [24] ZANDONADI D B, MATOS C R R, CASTRO R N, et al. Alkamides: A new class of plant growth regulators linked to humic acid bioactivity[J]. Chemical and Biological Technologies in Agriculture, 2019, 6(1):23.
- [25] CANELLAS L P, OLIVARES F L, OKOROKOVA-FAÇANHA A L, et al. Humic acids isolated from earthworm compost enhance root elongation, lateral root emergence, and plasma membrane H^+ -ATPase activity in maize roots[J]. Plant Physiology, 2002, 130(4):1951-1957.
- [26] 肖家昶,雷凤芸,格桑,等.外源喷施氨基酸肥对豆瓣菜生长与硒吸收的影响[J].浙江农业学报,2023,35(7):1638-1647.