

刺世凯, 李佳璠, 杜丽春, 等. 温室黄瓜育苗中生物菌肥的促根壮秧及化肥减施效果[J]. 江苏农业学报, 2022, 38(2): 469-475.
doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2022.02.022

温室黄瓜育苗中生物菌肥的促根壮秧及化肥减施效果

刺世凯, 李佳璠, 杜丽春, 高丽红, 田永强

(中国农业大学园艺学院, 设施蔬菜生长发育北京市重点实验室, 北京 100193)

摘要: 以温室黄瓜穴盘苗为对象, 研究了不同营养液浓度(1倍、1/2倍、1/4倍和0倍)下不同生物菌肥[丰田宝(FTB)、地福来(DFL)、植动力(ZDL)、自制菌肥(ZZ)]的促根壮秧及化肥减施效果。结果表明: 与不施肥和单施生物菌肥相比, 生物菌肥与营养液混施均提高了黄瓜幼苗的株高、茎粗、叶片数及壮苗指数, 其中100%营养液+ZZ处理最为显著。在适度化肥减施50%(1/2倍营养液)、75%(1/4倍营养液)条件下, 不同生物菌肥均能够有效促进黄瓜幼苗生长和提升壮苗指数(SQI), 1/4倍条件下ZZ和FTB分别提高壮苗指数28.7%、22.3%, 1/2倍条件下DFL和ZDL分别提高壮苗指数15.3%、44.2%; ZZ处理在低营养液浓度(1/4倍)下总根长达到25.2 m, 相较于CK(不施生物肥)根长13.1 m来说ZZ处理可显著增加根系长度($P < 0.05$); 在维持稳定的壮苗指数(0.199, 以1倍营养液+CK为基准)的前提下, ZZ和FTB可减少化肥施入量约75%, 而DFL和ZDL可减少50%。此外, 与CK相比, ZZ在1/2倍、0倍营养液浓度下, 及FTB在1倍营养液浓度下显著增加幼苗第1片真叶叶绿素含量。综上所述, 为了在化肥减施的基础上实现促根壮秧, 建议自制菌肥和丰田宝生物菌肥与1/4倍营养液配套施用, 而地福来生物菌肥和植动力生物菌肥与1/2倍营养液配套施用。

关键词: 温室黄瓜; 集约化育苗; 生物菌肥; 促生; 化肥减施

中图分类号: S642.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2022)02-0469-07

Effects of microbial fertilizers on promoting plant growth and reducing chemical fertilizer inputs during the production of greenhouse cucumber seedlings

LA Shi-kai, LI Jia-fan, DU Li-chun, GAO Li-hong, TIAN Yong-qiang

(College of Horticulture, China Agricultural University, Beijing Key Laboratory of Growth and Development Regulation for Protected Vegetable Crops, Beijing 100193, China)

Abstract: Taking greenhouse cucumber plug-seedlings as the research objects, microbial fertilizers, such as Fengtianbao (FTB), Difulai (DFL), Zhidongli (ZDL), independently developed microbial fertilizers (ZZ), on promoting plant growth and reducing chemical fertilizer inputs were investigated under various nutrient solution levels (one-strength, half-strength, quarter-strength and zero-strength). The results showed that, compared with no fertilization and single application of microbial fertilizer, the mixed application of microbial fertilizer and nutrient solution increased the plant height, stem thickness, leaf number and

seedling index of cucumber seedlings, and ZZ treatment with one-strength nutrient solution was the most significant. Under the condition of half-strength nutrient solution and quarter-strength, all microbial fertilizers could effectively promote the growth of cucumber seedlings and improve the seedling index (SQI). Under the condition of quarter-strength nutrient solution, ZZ and FTB increased the seedling index by 28.7% and 22.3% respectively. Under the condition of half-strength nu-

收稿日期: 2021-07-07

基金项目: 国家重点研发计划项目(2020YFD1000300); 宁夏回族自治区重点研发计划项目(2021BBF02005); 现代农业产业技术体系(国家大宗蔬菜)专项(CARS-23)

作者简介: 刺世凯, 男(1994-), 山西介休人, 博士研究生, 专业方向为设施蔬菜栽培生理与环境调控, (E-mail) 18811797951@163.com

通讯作者: 田永强, (E-mail) tianyq1984@cau.edu.cn

trient solution, DFL and ZDL increased the seedling index by 15.3% and 44.2%. Under the condition of low nutrient solution concentration (quarter-strength), the total root length in 22 treatment (25.2 m) was significantly higher than that in the control (13.1 m). On the premise of maintaining a stable seedling index (based on one-strength nutrient solution +CK, 0.199), ZZ and FTB could reduce the amount of chemical fertilizer by about 75%, while DFL and ZDL could reduce the amount of chemical fertilizer by about 50%. In addition, compared with the control (CK), ZZ treatment under the condition of half-strength nutrient solution and zero-strength nutrient solution and FTB treatment under the condition of one-strength nutrient solution significantly increased the chlorophyll content of the first true leaf. Taken together, to promote plant growth on the basis of reducing fertilizer application, it is suggested to apply ZZ and FTB under irrigation with quarter-strength nutrient solution, and DFL and ZDL under irrigation with half-strength nutrient solution.

Key words: greenhouse cucumber; intensive seedling production; microbial fertilizers; growth promotion; chemical fertilizer reduction

随着设施蔬菜产业的集约化发展,工厂化穴盘育苗技术得到普及与应用^[1]。目前,中国蔬菜种苗需求量超过 6.8×10^{11} 株,每年集约化育苗供苗量约 1.0×10^{11} 株,呈逐年迅速上升趋势^[2]。幼苗质量直接影响并决定移栽定植后作物生长发育状况。因此,如何高效培育壮苗是目前设施蔬菜产业发展亟待解决的重要问题。长期以来,人们在穴盘苗生产过程中盲目或过量地投入单一化肥,这不仅使得幼苗的养分吸收利用率减小,造成肥料的浪费,而且使得幼苗的抗逆能力下降,不利于定植后的生长^[3-4]。因此,在降低化肥投入的前提下,培育抗逆能力强的壮苗是未来工厂化育苗的发展方向。

生物菌肥是由特定微生物与大量元素营养物质和有机质复合而成的活体微生物制品,能提供、保持或改善植物营养,提高产品产量或改善产品品质,近年来受到农户和育苗企业的广泛关注,其在蔬菜、果树、花卉等多个领域都有一定的应用^[5-6]。诸多研究表明,在育苗基质中添加生物菌肥,可以增加根际微生物数量及活性,改善幼苗根际微生态环境,增强作物抗逆能力,进而促进幼苗生长^[7-8]。但是,目前生产中生物菌肥的种类多样,其对幼苗生长的促进效果也不尽相同。此外,生物菌肥在蔬菜育苗上替代化肥方面的相关研究报道不多。因此,有必要研究在不同化肥供应水平下,生物菌肥的促根壮秧及化肥减施效果。

黄瓜是中国设施栽培面积最大的蔬菜作物之一。在生产中,工厂化黄瓜穴盘苗已被广泛应用。本研究选取3种典型商用生物菌肥(地福来、丰田宝和植动力),并自主研发一种菌群多样性丰富的生物菌肥,探究不同营养液浓度(1倍、1/2倍、1/4倍和0倍)下4种生物菌肥对黄瓜幼苗生物量及其他相关生理指标

的影响,以期制定合理的黄瓜穴盘苗促根壮秧与化肥减施策略提供理论依据和实践支持。

1 材料与方法

1.1 试验地点与设计

试验于2017年在北京市中国农业大学科学园2号日光温室内进行。试验占地面积为 $10 \text{ m} \times 7 \text{ m}$,供试黄瓜品种为中农26号。黄瓜种子在 $55 \text{ }^\circ\text{C}$ 温水浸种6h后放置到 $28 \text{ }^\circ\text{C}$ 人工培养箱中进行黑暗培养,待发芽后,播种至装有混合基质(体积比2:1的草炭:蛭石)的穴盘中。试验为双因素设计,因素一为生物菌肥处理(5个),因素二为营养液浓度水平(4个),共20个处理。生物菌肥处理包括对照(CK,不施生物菌肥)、丰田宝(FTB)、地福来(DFL)、植动力(ZDL)及自制的生物菌肥(ZZ),生物菌肥产品说明见表1。根据具体产品,播种前将ZZ、FTB和ZDL分别与基质质量的10%、50%、0.1%混匀后装入32孔穴盘,DFL按照每株 $100 \mu\text{l}$ 的剂量加入对应穴盘孔内,以不施生物菌肥CK为对照。播种出苗后,全部采用清水浇灌(每株约25 ml,以刚好浸湿基质又不渗出为准)。待第1片真叶展平后,根据黄瓜幼苗生长所需的基本元素,开始浇灌提前配制的不同浓度(1倍、1/2倍、1/4倍、0倍)的霍格兰营养液(具体配方为:四水硝酸钙 945 mg/L ,硫酸钾 607 mg/L ,磷酸二氢铵 115 mg/L ,七水硫酸镁 493 mg/L),每株25 ml营养液,之后营养液与清水交替施用,共浇灌营养液2次,幼苗生长至两叶一心时测定生长指标。每个处理3次重复,每个重复32株苗,每隔3 d调换一次穴盘的位置。

1.2 营养液配制与指标测定

1.2.1 不同浓度的霍格兰营养液配制 按照试验

设计中的营养液配方,提前配制好营养液母液,通过蒸馏水依次配制 1 倍、1/2 倍、1/4 倍、0 倍的营养液,并调节营养液 pH 至 7.0 左右。以不同浓度的营养液模拟生产上的化肥减量,对应关系分别为 1

倍营养液模拟化肥减量 0, 1/2 倍模拟化肥减量 50%, 1/4 倍模拟化肥减量 75%, 0 倍模拟化肥减量 100%。

表 1 试验中不同生物菌肥介绍

Table 1 The introduction of different microbial fertilizers in the experiment

生物菌肥处理代码	生物菌肥名称	产品说明	使用量	基本元素含量	来源
ZZ	自制生物菌肥	富含矿化有机养分及抗逆促生的各类微生物,其载体为质量比 3:1:1 的蚯蚓粪、生物炭、柠条混合物	以基质质量的 10% 混入	全氮 3.81%, 全磷 1.77%, 全钾 1.45%, 有机质 72.5%	中国农业大学园艺学院
FTB	丰田宝	具有固氮、解磷、解钾和对病原菌有拮抗功能 4 大类 21 种微生物菌群	以基质质量的 50% 混入	有机质>40%, 1 g 丰田宝有效活菌数 $\geq 2 \times 10^7$	山东丰田宝农业科技有限公司
DFL	地福来	微生物藻类活性细胞肥	1 株 100 μ l	全氮 3.81%, 全磷 1.57%, 全钾 0.95%, 有机物 29.8%	北京地福来科技发展有限公司
ZDL	植动力	富含蚯蚓微生物菌群	以基质质量的 0.1% 混入	$N+P_2O_5+K_2O \geq 6.0\%$	宁夏万辉生物环保科技有限公司

1.2.2 地上部生长指标 用直尺测量株高,用数码游标卡尺测量茎粗,统计叶片数,用 EPSON EXPRESSION 4900 型扫描仪扫描并用 Win RHIZO 软件分析计算第 1 和第 2 真叶的叶面积,用 SAPD 仪测定第 1 和第 2 片真叶的叶绿素含量。

1.2.3 根系形态构型 采用 EPSON EXPRESSION 4900 型扫描仪扫描根系,然后用 Win RHIZO 软件分析计算根系形态指标,包括根长、表面积、体积和平均直径。

1.2.4 生物量指标 将根、茎、叶分开,在 105 $^{\circ}$ C 的烘箱中杀青 30 min, 85 $^{\circ}$ C 烘干直至恒质量,分别用千分天平称取这 3 部位的干质量。

1.2.5 壮苗指数 计算壮苗指数(SQI), $SQI = SD/PH \times DW$, 其中 SD、PH 和 DW 分别为茎粗、株高和幼苗干质量。

1.3 数据统计与分析

使用 Microsoft Excel 2016 软件进行数据记录及整理,使用 IBM SPSS Statistics 22.0 软件进行双因素方差分析,使用 Tukey 法进行多重比较(显著性水平为 $P < 0.05$)。

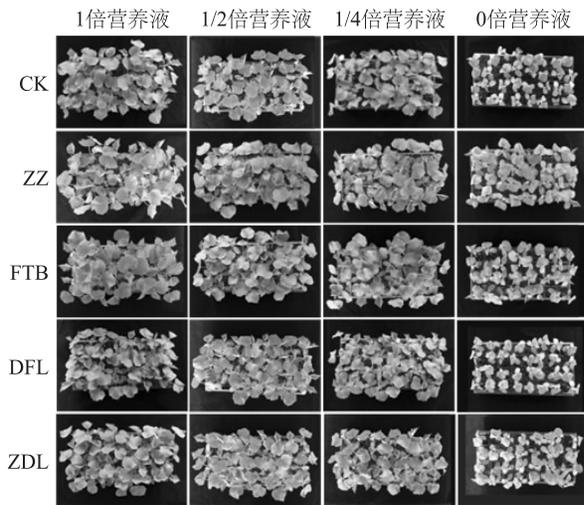
2 结果与分析

2.1 不同营养液浓度下生物菌肥处理对黄瓜幼苗地上部生长指标的影响

由幼苗生长状态(图 1)结合地上部指标(表 2)来看,在清水(0 倍营养液)浇灌下,与对照(CK)相比,各生物菌肥(ZZ、FTB、DFL 和 ZDL)均对幼苗质

量有一定的提升效果,其中 ZZ 处理的株高达到 9.64 cm,相较于 CK 的株高 8.63 cm,提升效果最为明显。这一结果说明,各生物菌肥(特别是 ZZ)在不施肥条件下有明显的促根壮秧效果。但是,随着营养液浓度的升高,各生物菌肥与对照的差异逐渐缩小。尽管如此,在 1/4 倍营养液下 ZZ 对幼苗株高能够提升 18.6%,说明 ZZ 在化肥减施 75% 的情况下有明显的促生效果。此外,在 1/2 倍和 1 倍营养液下 ZZ 仍对幼苗地上部的株高、茎粗均有提升效果。具体表现为在 1/2 倍营养液条件下,相较于 CK 的株高(12.39 cm)、茎粗(4.69 mm),ZZ 处理的株高、茎粗分别为 13.58 cm、4.73 mm;在 1 倍营养液条件下,相较于 CK 的株高(12.04 cm)、茎粗(4.96 mm),ZZ 处理的株高、茎粗分别为 15.34 cm、4.98 mm。说明 ZZ 替代化肥的效果显著。

双因素分析结果表明,生物菌肥、营养液浓度及二者互作处理均显著($P < 0.01$)影响了黄瓜幼苗株高、茎粗和叶片数。表 2 显示,在株高方面,与对照(CK)相比,ZZ 在所有营养液浓度下均表现出显著的促进作用,而 ZDL 均无显著影响。此外,FTB 对株高的显著促进作用体现在 1 倍和 0 倍营养液浓度下,而 DFL 体现在 1 倍和 1/2 倍营养液浓度下。在茎粗方面,与对照(CK)相比,ZZ 在所有营养液浓度下均无显著影响,而 FTB 在 1 倍、1/2 倍、1/4 倍营养液浓度下,及 DFL 与 ZDL 在 1/2 倍、1/4 倍、0 倍营养液浓度下表现出显著抑制作用。值得注意的是,在 1 倍营养液浓度下,ZZ 较其余处理显著增加了叶片数。



CK 为未施菌肥对照,ZZ、FTB、DFL 和 ZDL 分别表示自制生物菌肥、丰田宝生物菌肥、地福来生物菌肥和植动力生物菌肥。

图 1 不同营养液浓度下生物菌肥处理对黄瓜幼苗表现生长状态的影响

Fig.1 Effects of microbial fertilizer treatment on apparent growth status of cucumber seedlings under different nutrient concentrations

在叶面积和叶绿素方面,生物菌肥的影响体现在第 1 真叶上(表 3)。对于第 1 真叶叶面积而言,与对照(CK)相比,ZZ 在所有营养液浓度下均表现出显著促进作用。但是,对于第 1 真叶叶绿素含量而言,由于生物菌肥、营养液浓度二者互作的影响,不同营养液浓度下生物菌肥的影响有所有差异。这种差异具体体现在:与对照(CK)相比,ZZ 在 1/2 倍、0 倍营养液浓度下,及 FTB 在 1 倍营养液浓度下表现出显著促进作用,而 DFL 和 ZDL 在所有营养液浓度下均无显著影响。这些结果说明,ZZ 和 FTB 对叶片生长的促进效果较为明显。

2.2 不同营养液浓度下生物菌肥处理对黄瓜幼苗根系形态的影响

生物菌肥处理显著影响了黄瓜幼苗根长、根表面积、平均根直径和根体积(表 4)。在 1/4 倍营养液浓度下,与对照(CK)相比,ZZ 显著增加了根系长度、根表面积和根体积。这一结果说明,在低营养液浓度(1/4 倍)下,ZZ 有较明显的促根作用。

2.3 不同营养液浓度下生物菌肥处理对黄瓜幼苗生物量和壮苗指数的影响

生物菌肥处理显著影响了根、茎和叶的干质量(表 5)。与对照(CK)相比,ZZ 在所有营养液浓度下均显著提高了根、茎和叶的干质量,而 FTB 显著

提高了 1 倍、1/2 倍和 1/4 倍营养液下的茎干质量。此外,DFL 显著提高了 1/4 倍营养液下的茎干质量,而 ZDL 显著提高了 1/4 倍营养液下的茎干质量和 1/2 倍营养液下的根干质量。这些结果说明,不同生物菌肥存在一定程度的壮秧作用,但其适宜的营养液浓度有所差异。

表 2 不同营养液浓度下生物菌肥处理对黄瓜幼苗株高、茎粗和叶片数的影响

Table 2 Effects of microbial fertilizer treatment on plant height, stem diameter and leaf number of cucumber seedlings under different nutrient concentrations

营养液浓度	生物菌肥处理	株高 (cm)	茎粗 (mm)	叶片数 (片)
1 倍	CK	12.04±0.93efg	4.96±0.23a	3.0±0b
	ZZ	15.34±1.19a	4.98±0.23a	3.6±0.5a
	FTB	14.98±1.03a	4.81±0.13bc	3.0±0b
	DFL	13.10±0.52cd	4.93±0.16ab	3.0±0b
	ZDL	12.81±0.45ede	4.89±0.11ab	3.3±0.5b
1/2 倍	CK	12.39±0.89def	4.69±0.09c	3.0±0b
	ZZ	13.58±1.63bc	4.73±0.13c	3.1±0.4b
	FTB	12.21±0.84efg	4.18±0.16fg	3.0±0b
	DFL	11.96±0.32fg	4.45±0.07d	3.0±0b
	ZDL	11.84±0.87fg	4.44±0.16d	3.0±0b
1/4 倍	CK	12.00±0.97efg	4.30±0.10ef	3.0±0b
	ZZ	14.23±0.52b	4.34±0.14de	3.0±0b
	FTB	12.01±0.55efg	4.12±0.17g	3.0±0b
	DFL	11.53±0.49fg	3.84±0.14h	3.0±0b
	ZDL	11.50±0.46g	4.17±0.10fg	3.1±0.4b
0 倍	CK	8.63±0.78i	3.70±0.10h	2.0±0c
	ZZ	9.64±0.86h	3.83±0.21h	2.3±0.5c
	FTB	9.56±0.25h	3.70±0.10h	2.0±0c
	DFL	8.16±0.46i	3.37±0.10i	2.0±0c
	ZDL	7.91±0.44i	3.39±0.08i	2.0±0c

CK 为未施菌肥对照,ZZ、FTB、DFL 和 ZDL 分别表示自制生物菌肥、丰田宝生物菌肥、地福来生物菌肥和植动力生物菌肥。同一列不同字母表示处理间差异显著($P<0.05$)。

生物菌肥、营养液浓度及二者互作处理均极显著($P<0.001$)影响了黄瓜壮苗指数(表 5)。在对照(CK)条件下,随营养液浓度的下降,壮苗指数呈明显下降趋势。但是,与对照(CK)相比,ZZ 在所有营养液浓度下均显著提高了壮苗指数,ZDL 除 1/4 倍营养液外其他浓度处理均显著提高壮苗指数,而 FTB 和 DFL 则分别显著提高了 1/2 倍、1/4 倍营养液下的壮苗指数。

表 3 不同营养液浓度下生物菌肥处理对黄瓜幼苗真叶面积和叶绿素含量的影响

Table 3 Effects of microbial fertilizer treatment on true leaf area and chlorophyll content of cucumber seedlings under different nutrient concentrations

营养液浓度	生物菌肥处理	叶面积 (cm ²)		叶绿素含量 (SPAD 值)	
		第 1 真叶	第 2 真叶	第 1 真叶	第 2 真叶
1 倍	CK	47.54±0.64b	60.42±2.14a	37.33±1.81bcd	39.44±1.74ab
	ZZ	58.79±1.07a	59.46±1.22a	38.00±2.32ab	39.32±2.95ab
	FTB	49.74±2.61b	61.34±1.49a	40.30±2.31a	41.10±1.76a
	DFL	44.33±2.21b	64.96±2.07a	37.45±3.22bcd	39.74±3.51ab
	ZDL	46.82±1.30b	61.25±1.63a	38.50±2.97ab	40.69±2.93a
1/2 倍	CK	42.95±1.75c	43.01±1.93b	36.68±0.97bcde	38.34±2.30bc
	ZZ	48.08±2.87b	49.51±1.06b	40.15±2.21a	37.55±1.79bcd
	FTB	43.85±2.98c	43.64±2.80b	37.10±1.86bcd	37.69±0.58bcd
	DFL	41.10±2.15c	43.48±3.13b	35.95±1.41cde	36.78±2.01cde
	ZDL	42.72±1.59c	48.89±0.49b	35.80±0.76cde	36.86±1.47cde
1/4 倍	CK	31.29±1.49d	32.66±1.74c	36.08±1.88cde	36.33±1.35cde
	ZZ	37.68±1.48c	34.37±2.65c	36.50±1.71cde	36.34±1.63cde
	FTB	31.36±1.03d	34.07±0.36c	36.70±1.81bcde	35.92±0.90de
	DFL	34.68±1.77d	38.35±0.37c	34.79±2.33e	34.81±1.46e
	ZDL	32.05±2.31d	35.50±2.22c	35.50±1.37de	35.86±1.42de
0 倍	CK	15.95±0.86f	8.55±0.32d	26.79±0.95g	31.48±1.47fg
	ZZ	24.20±0.29e	13.92±0.48d	31.00±1.87f	32.49±1.43f
	FTB	21.24±1.11f	11.31±1.41d	28.30±1.10g	29.48±0.51g
	DFL	16.96±1.51f	7.97±0.13d	28.35±0.89g	32.06±1.12f
	ZDL	19.30±1.96f	11.04±0.09d	28.80±1.63g	31.18±2.14fg

CK 为未施菌肥对照,ZZ、FTB、DFL 和 ZDL 分别表示自制生物菌肥、丰田宝生物菌肥、地福来生物菌肥和植动力生物菌肥。同一列不同字母表示处理间差异显著 ($P<0.05$)。

表 4 不同营养液浓度下生物菌肥处理对黄瓜幼苗根系形态的影响

Table 4 Effects of microbial fertilizer treatment on root morphology of cucumber seedlings under different nutrient concentrations

营养液浓度	生物菌肥处理	根长 (m)	根表面积 (cm ²)	平均根直径 (mm)	根体积 (cm ³)
1 倍	CK	18.2±3.0ab	160.7±24.6abc	0.28±0.01a	1.13±0.17abc
	ZZ	17.7±2.7ab	148.9±19.7abc	0.25±0.01ab	1.02±0.12abc
	FTB	22.0±2.2ab	175.6±17.7abc	0.24±0.01ab	1.14±0.14abc
	DFL	19.8±0.9ab	157.3±7.3abc	0.24±0ab	1.00±0.05abc
	ZDL	21.9±2.4ab	184.1±23.1abc	0.25±0ab	1.24±0.18abc
1/2 倍	CK	19.6±2.3ab	160.1±15.2abc	0.26±0.02ab	1.05±0.09abc
	ZZ	25.8±3.1a	224.7±23.1a	0.26±0.01ab	1.58±0.14a
	FTB	20.7±1.2ab	167.4±9.6abc	0.24±0ab	1.10±0.06abc
	DFL	14.8±1.4ab	122.5±11.7bc	0.25±0ab	0.81±0.08c
	ZDL	20.6±1.2ab	165.3±11.1abc	0.25±0.01ab	1.07±0.09abc
1/4 倍	CK	13.1±0.9b	110.7±6.0c	0.26±0.01a	0.75±0.04c
	ZZ	25.2±3.7a	218.1±28.8a	0.26±0.01ab	1.52±0.19ab
	FTB	16.7±3.5ab	119.9±24.7bc	0.23±0.01b	0.69±0.14c
	DFL	24.1±3.7ab	209.5±28.4ab	0.27±0.01a	1.46±0.17ab
	ZDL	23.6±1.4ab	193.9±13.4abc	0.25±0ab	1.28±0.11abc
0 倍	CK	12.9±1.5b	107.6±13.6c	0.25±0.01ab	0.73±0.10c
	ZZ	16.4±1.1ab	137.5±9.6abc	0.25±0ab	0.93±0.07bc
	FTB	18.0±0.5ab	147.6±5.7abc	0.25±0.01ab	0.98±0.06abc
	DFL	17.6±1.7ab	144.7±13.3abc	0.24±0.01ab	0.96±0.10bc
	ZDL	15.9±1.1ab	125.2±10.3bc	0.24±0ab	0.79±0.08c

CK 为未施菌肥对照,ZZ、FTB、DFL 和 ZDL 分别表示自制生物菌肥、丰田宝生物菌肥、地福来生物菌肥和植动力生物菌肥。同一列不同字母表示处理间差异显著 ($P<0.05$)。

综合考虑上述试验结果,以 1 倍营养液下的 CK 作为参比,ZZ 和 FTB 在 1/4 倍营养液下均没有显著降低黄瓜幼苗根、茎、叶的干质量及壮苗指数(表 5)。因此,自制生物菌剂和丰田宝生物菌肥在黄瓜

育苗中可减少化肥施入量 75% 左右。此外,DFL 和 ZDL 在 1/2 倍营养液下表现出相似趋势,因此地福来和植动力生物菌肥可减少化肥施入量约 50% 左右。

表 5 不同营养液浓度下生物菌肥处理对黄瓜幼苗生物量和壮苗指数的影响

Table 5 Effects of microbial fertilizer treatment on biomass and seedling index of cucumber seedlings under different nutrient concentrations

营养液浓度	生物菌肥处理	根干质量 (g)	茎干质量 (g)	叶干质量 (g)	壮苗指数
1 倍	CK	0.058±0.010c	0.104±0.025cde	0.380±0.078bc	0.199±0.011cde
	ZZ	0.064±0.006ab	0.183±0.019a	0.490±0.041a	0.242±0.002ab
	FTB	0.062±0.005bc	0.145±0.021b	0.438±0.057bc	0.215±0.009abcd
	DFL	0.060±0.004bc	0.115±0.013cd	0.403±0.051bc	0.238±0.008abc
	ZDL	0.067±0.007a	0.120±0.026c	0.418±0.068bc	0.250±0.007a
1/2 倍	CK	0.063±0.011bc	0.100±0.008defg	0.397±0.068bc	0.163±0.005efg
	ZZ	0.070±0.004a	0.139±0.011b	0.464±0.048a	0.251±0.008a
	FTB	0.061±0.006bc	0.118±0.010c	0.423±0.031bc	0.208±0.009bcd
	DFL	0.062±0.009bc	0.107±0.015cde	0.401±0.052bc	0.188±0.004def
	ZDL	0.076±0.006a	0.112±0.015cde	0.391±0.046bc	0.235±0.008abc
1/4 倍	CK	0.051±0.002c	0.077±0.007h	0.354±0.042c	0.157±0.011fgh
	ZZ	0.065±0.006ab	0.120±0.014c	0.445±0.049ab	0.202±0.002bcde
	FTB	0.062±0.011bc	0.098±0.012efg	0.343±0.063c	0.192±0.010def
	DFL	0.063±0.007bc	0.099±0.005efg	0.414±0.039bc	0.133±0.012hi
	ZDL	0.058±0.006bc	0.092±0.015fg	0.394±0.051bc	0.153±0.013fghi
0 倍	CK	0.034±0.007e	0.048±0.005i	0.224±0.023d	0.116±0.001i
	ZZ	0.047±0.005d	0.085±0.014gh	0.356±0.055c	0.215±0.005abcd
	FTB	0.035±0.008e	0.057±0.011i	0.257±0.036d	0.155±0.006fghi
	DFL	0.038±0.006de	0.048±0.006i	0.233±0.026d	0.142±0.011ghi
	ZDL	0.044±0.006de	0.053±0.006i	0.260±0.036d	0.167±0.005efg

CK 为未施菌肥对照,ZZ、FTB、DFL 和 ZDL 分别表示自制生物菌肥、丰田宝生物菌肥、地福来生物菌肥和植动力生物菌肥。同一列不同字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$)。

3 讨论与结论

目前已经有不少有关蔬菜种植中化肥减量的研究,但相关研究基本聚焦在定植后生长阶段^[9-10]。随着中国集约化育苗的飞速发展,人们为了提高产苗量、追求经济效益,通常向基质中投入过量的无机化肥,这不但破坏基质的理化和生物学性质,还使得基质的水肥固持力和幼苗的抗逆能力下降^[3-4]。在集约化育苗中采用有机肥料部分或全部代替化肥,在减少化肥用量的同时保证幼苗的质量,是中国集约化育苗绿色发展的必由之路。

减少化肥用量可以在一定程度上提高幼苗对肥料的利用效率。但是,只是单纯减少化肥用量,很容

易造成基质养分供应不持续的问题。已有研究结果表明,生物菌肥可以通过自身活性微生物的活动,分解并转化基质中不能吸收或难以吸收的养分供植物生长。本研究发现,在减少化肥用量 75% 情况下,自制菌肥和丰田宝生物菌肥仍然能够维持与 1 倍营养液等效的根、茎、叶的干质量及壮苗指数。更重要的是,即使在 1 倍营养液下,自制菌肥仍然有明显的促根壮秧(增加幼苗各器官干质量及壮苗指数)作用。与本试验结果相似,朱代强^[11]试验发现生物有机肥与减量化肥混施可以提高蒜苗的生长量。此外,王巧玲等^[12]发现接种 GN6、JP2、JC1 及 3 株菌株混合液后,黄瓜幼苗株高显著增加。在本试验中,与不施化肥(清水对照)及单施生物菌肥相比,

生物菌肥在较低(1/4 与 1/2 倍)营养液浓度下明显提高黄瓜幼苗的株高、茎粗、叶面积、叶绿素含量、干物质质量及壮苗指数等,说明生物菌肥可以在有效替代化肥的同时起到促根壮秧的作用。就幼苗生理和生长指标而言,施用生物菌肥后各项指标呈现不同程度上升趋势,这可能是由于生物菌肥中活性菌的积极活动,刺激植物产生了生长激素和激活体内酶的活性,使得植物的光合作用增强,干物质积累增多^[13-15]。

综合本试验结果,相比于单一的施肥和单施生物菌肥,二者混施均对黄瓜幼苗的生物量和壮苗指数有明显的促进作用;在生长基质中添加自制菌肥和丰田宝生物菌肥,配合浇灌 1/4 倍营养液,不仅对叶片生长有较明显的促进效果,而且可以维持较高的幼苗生物量及壮苗指数,实现化肥减施 75% 左右。此外,地福来和植动力生物菌肥在配合 1/2 营养液的基础上,能够保证幼苗的生物量和壮苗指数,实现化肥减施 50% 左右。

参考文献:

- [1] 别之龙,黄丹枫. 工厂化育苗原理与技术[M]. 北京:中国农业出版社,2019.
- [2] 刘明池,季延海,武占会,等. 我国蔬菜育苗产业现状与发展趋势[J]. 中国蔬菜,2018(11): 1-7.
- [3] 台连丽,张志刚,李福凯,等. 孔穴型式和营养液浓度对黄瓜潮汐式穴盘育苗效果的影响[J]. 中国蔬菜, 2016(12): 26-29.
- [4] 董春娟,李 亮,张志刚,等. 壳聚糖对黄瓜穴盘苗根际细菌多样性的影响[J]. 中国农业大学学报,2018, 23(1): 54-62.
- [5] SCHOEBITZ M, LÓPEZ M D, SERRÍ H, et al. Combined application of microbial consortium and humic substances to improve the growth performance of blueberry seedlings[J]. Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 2016, 16(4): 1010-1023.
- [6] WANG Y, XIANG L, WANG S, et al. Effects of seaweed fertilizer on the *Malus hupehensis* Rehd. seedlings growth and soil microbial numbers under continue cropping [J]. Acta Ecologica Sinica, 2017, 37(3):180-186.
- [7] 董春娟,王玲玲,李 亮,等. 解淀粉芽胞杆菌 K103 对黄瓜穴盘苗的促生作用[J]. 园艺学报,2018,45(11): 2199-2220.
- [8] 张 莹,秦宇轩,尚庆茂,等. 解淀粉芽胞杆菌 L-S60 与黄瓜互作特性研究[J]. 农业机械学报,2019,50(2): 258-265.
- [9] 黄绍文,唐继伟,李春花,等. 我国蔬菜化肥减施潜力与科学施用对策[J]. 植物营养与肥料学报,2017, 23(6): 1480-1493.
- [10] 谢邵文,杨 芬,冯含笑,等. 中国化肥农药施用总体特征及减施效果分析[J]. 环境污染与防治,2019, 41(4): 490-495.
- [11] 朱代强. 生物有机肥部分替代化肥对蒜苗生长生理、养分吸收、产量及品质的影响[D]. 兰州:甘肃农业大学, 2018.
- [12] 王巧玲,范广璞,杨 猛,等. 复合微生物肥料功能菌的筛选及其对黄瓜幼苗的促生作用[J]. 江苏农业科学,2018,46(19): 146-149.
- [13] THILAGAR G, BAGYARAJ D J, RAO M S, et al. Selected microbial consortia developed for chilly reduces application of chemical fertilizers by 50% under field conditions[J]. Scientia Horticulturae, 2016, 198:27-35.
- [14] PANG G, CAI F, LI R, et al. Trichoderma-enriched organic fertilizer can mitigate microbiome degeneration of monocropped soil to maintain better plant growth[J]. Plant and Soil, 2017, 416(1/2): 181-192.
- [15] ROS M, RAUT I, SANTISIMA-TRINIDAD A B, et al. Relationship of microbial communities and suppressiveness of Trichoderma fortified composts for pepper seedlings infected by *Phytophthora nicotianae*[J]. PLoS One, 2017, 12(3): e0174069.

(责任编辑:张震林)