

营养元素调控下南瓜组培根化感作用的初步研究

袁翠萍¹, 税军峰², 金付平¹, 王德胜¹, 马永清^{1,2*}

(1. 西北农林科技大学资源环境学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 中国科学院水利部水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100)

摘 要: 通过调节 B₅ 培养基中的组分, 研究了金钩南瓜组培根在五种营养元素(P、Mg、Fe、Cu、B)四个浓度梯度(1/2 B₅、B₅、3/2 B₅、2 B₅)培养下化感作用的响应模式以及对黑籽和金钩南瓜两种受体幼苗生长的影响。结果表明:不同营养元素对受体植物幼苗生长的影响不一致,与元素含量显著相关,而且依赖于受体选择。五种营养元素在亏缺(1/2 B₅)和正常(B₅)条件下南瓜组培根过滤液对受体植物幼苗生长均表现为抑制作用;而适量增加营养元素的条件下(3/2 B₅和 2 B₅),一般表现为促进作用,但 2 B₅ 含量下,B 元素导致金钩南瓜的自毒作用,而 Fe 能引发金钩南瓜组培根过滤液对黑籽南瓜的抑制作用。因此理论上初步得出 P 和 Mg 元素可以降低南瓜根系的毒害作用,而 Fe、Cu 和 B 元素对南瓜根系的化感调控作用与品种选择有关,这对调控施肥、降低设施农业中葫芦科作物的连作障碍具有一定的参考意义。

关键词: 南瓜; 组培根; 化感潜力; 营养调控

中图分类号: S642.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2008)02-0038-06

在农业生产中目前普遍存在着连作障碍现象,这已是现代农业生产上亟需解决的一大难题,如豆科和葫芦科蔬菜作物由于连作障碍导致严重减产、品质变劣和病虫害严重。冯志红^[1]指出葫芦科蔬菜连作障碍的一个重要原因是由于植物的自毒作用,1999 年 Wills^[2]指出黄瓜连作减产的原因是黄瓜在生长过程中,根系分泌酚酸类毒性物质积累在土壤中从而对后茬的黄瓜造成自毒作用。不同胁迫环境、不同植物、甚至同一植物不同基因型品种,其根分泌物的组成、含量差异很大^[3,4]。根系释放的有机物进入根际是化感物质进入环境的一个重要途径,根分泌物的化感作用在农业生态系统中具有重要作用^[5]。Steinsiek 和 Oliver^[6]对大麦幼苗的研究也发现,在 N 或 P 缺乏时,香草酸和香豆酸对其毒害作用加强。Einhelling^[7]报道,提高 P 水平可以克服阿魏酸对高粱幼苗生长的影响。

当前,由于葫芦科作物自毒效应显著,因此在生产上广泛采用以南瓜为砧木的嫁接技术。然而广泛采用南瓜作为砧木也易造成嫁接杂交困难和类似连作障碍现象等问题,主要是南瓜自身存在化感作用问题,这成为蔬菜连作障碍中的一个新的研究热点。喻景权^[8]指出蔬菜连作障碍的重要原因为土壤传染性病虫害的发生、土壤理化性质进一步劣化以及由根系分泌物和残茬分解物引起的自毒作用。梁银丽^[9]研究表明在日光温室条件下,以南瓜作为砧木

的黄瓜在连作 4 a 以后,其生理障碍开始有明显表现。因此,南瓜是否具有化感作用依然是葫芦科蔬菜连作障碍中的一个不容忽视的因素之一,但国内外关于南瓜此方面的报道甚少,更缺少有关根系分泌物引起化感作用的直接证据。

如何降低或减小砧木南瓜的化感抑制效应,是一个值得研究的问题。本文采用组织培养技术,利用植物营养学原理探明南瓜根系的化感作用,同时从与植物化感作用存在着明显互作关系的环境(营养)胁迫的角度出发,初步探讨营养调节下南瓜根系化感作用的作用方式和对受体的影响机制,从植物化感作用的角度为降低连作障碍提供一定的理论依据和解决途径。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试材料为金钩南瓜(*Cucurbita moschata* M. Var. Jingou)组培根^[10],来自本实验室已建立的稳定的南瓜组培根无性系(培养在含有 0.4 mg/kg NAA 和 30 g/L 蔗糖的 B₅ 培养基中)。受试材料为金钩南瓜和黑籽南瓜种子,购自西北农林科技大学良种推广服务中心。

1.2 试验设计

金钩南瓜组培根生长的 B₅ 培养基组分分别从大量元素和微量元素两个方面进行单元素调节,其

收稿日期:2007-08-14; 修改日期:2007-10-12

基金项目:国家“十一五”科技支撑计划课题资助(2006BAD09B08);西北农林科技大学创新团队资助

作者简介:袁翠萍(1979—),女,新疆乌鲁木齐人,在读硕士,从事葫芦科作物化感作用研究。E-mail: ycp0420@163.com。

* 通讯作者:马永清, E-mail: mayongqing@ms.iswc.ac.cn。

它元素为正常水平, 处理中基本不变。根据本实验室内前人的研究结果^[10]大量元素选择了两个元素: P (mmol/L)、Mg (mmol/L), 并选择培养基强度 1/2、1、3/2、2 四个水平, 即 P 含量为 0.55、1.10、1.65、2.20 mmol/L, Mg 含量为 0.51、1.02、1.53、2.04 mmol/L, 共 8 个处理, 各处理均重复 5 次。同理, 微量元素选择三个典型元素: Fe (mmol/L)、Cu

($\mu\text{mol/L}$)、B ($\mu\text{mol/L}$), 并选择培养基强度 1/2、1、3/2、2 四个水平, 即 Fe 含量为 0.05、0.10、0.15、0.20 mmol/L, Cu 含量为 0.078、0.156、0.234、0.312 $\mu\text{mol/L}$, B 含量为 24.19、48.38、72.57、96.76 $\mu\text{mol/L}$, 共 12 个处理, 各处理均重复 5 次。具体试验设计见表 1。

表 1 五种元素因素水平表
Table 1 The factor level of five elements

水平 Levels	B ₅ 的倍数 Times of B ₅	因素 Factors				
		大量元素 Macroelement		微量元素 Microelement		
		P (mmol/L)	Mg (mmol/L)	Fe (mmol/L)	Cu ($\mu\text{mol/L}$)	B ($\mu\text{mol/L}$)
1	1/2 B ₅	0.55	0.51	0.05	0.078	24.19
2	B ₅	1.10	1.02	0.10	0.156	48.38
3	3/2 B ₅	1.65	1.53	0.15	0.234	72.57
4	2 B ₅	2.20	2.04	0.20	0.312	96.76

1.3 组培根过滤液的制备

每处理取金钩南瓜组培根(鲜重 0.2 g)接种到 100 mL 三角瓶中, 三角瓶装有 25 mL 调节不同组分的 B₅ 液体培养基, P、Mg、Fe、Cu、B 每个元素均设 4 个水平, 共计 20 个处理, 每个处理重复 5 次, 然后放置在 70 r/min 的摇床上, 在 25℃ 黑暗环境中培养 17 d 后收获。收获的组培液过滤冷藏备用。

1.4 调节不同营养元素的南瓜组培根化感效应试验

取 3 mL 各处理组培过滤液加入放有两层普通定性滤纸、直径为 9 cm 的玻璃培养皿中作为培养液, 选择均匀饱满的受体种子(两种受体南瓜种子均用流水催芽 24 h), 每皿摆放 7 粒南瓜预培养种子, 同时以蒸馏水作对照, 总计 21 个处理, 每个处理重复 3 次。然后将全部的培养皿置于 25℃ 的恒温箱中培养, 每 24 h 每皿加蒸馏水 1 mL, 直到 120 h 后测量金钩南瓜和黑籽南瓜的胚根长、胚芽长和侧根数。

1.5 数据处理方法

根据 Williamson^[11]提出的化感作用评价方法, 将测得的胚根长、胚芽长和侧根数的数据转换成化感效应指数(RI), 以衡量化感作用的强弱。RI = $T/C - 1$, 其中 C 是对照值, T 是处理值。当 RI > 0 时, 表示有促进作用; 当 RI < 0 时, 表示抑制作用。RI 的绝对值代表化感作用强度的大小。以 RI 值作为原始数据, 应用 DPS v6.55 软件对数据进行方差分析, 对方差分析显著的数据再进行 LSD 多重比较。以南瓜的胚根长、胚芽长和侧根数为指标进行

极差分析。

2 结果与分析

2.1 大量元素(P 和 Mg)调控下金钩南瓜组培根的化感响应

金钩南瓜组培根过滤液对于黑籽南瓜幼苗生长随着 P 浓度的增加, 各处理对胚根长、胚芽长和侧根数抑制作用减弱, 当 P 的浓度增加到 3/2 B₅(1.65 mmol/L)时, 对胚根长和侧根数表现为显著的促进作用, 但对胚芽长仍然表现为抑制作用, 但抑制作用减弱。当 P 的浓度增加到 2 B₅(2.20 mmol/L)时, 对胚根长、侧根数的促进作用趋于平缓, 但对胚芽长有显著的促进作用(图 1)。

金钩南瓜组培根过滤液对于金钩南瓜幼苗生长的表现与黑籽南瓜基本相同, 随着 P 含量的增加, 各处理对胚根长、胚芽长和侧根数的促进作用增强, 当 P 的浓度增加到 3/2 B₅(1.65 mmol/L)时, 对胚根长、胚芽长和侧根数均表现为促进作用, 当再增加 P 时, 对胚根长和胚芽长的促进作用减弱, 对侧根数的促进作用更加显著(图 1)。

金钩南瓜组培根过滤液对黑籽南瓜幼苗生长的影响随 Mg 浓度的增加, 各处理对胚根长、胚芽长和侧根数抑制作用减弱, 当 Mg 的浓度增加到 3/2 B₅(1.53 mmol/L)时, 处理对胚根长、胚芽长、侧根数表现为促进作用, 当继续增加 Mg 时, 对胚芽长产生抑制作用, 而对胚根长和侧根数产生促进作用(图 1)。

随着 Mg 浓度的增加金钩南瓜组培根过滤液对

金钩南瓜化感抑制作用减弱,当 Mg 的浓度增加到 $2 B_5(2.04 \text{ mmol/L})$ 时对胚根长、胚芽长和侧根数均

有显著的促进作用(图 1)。

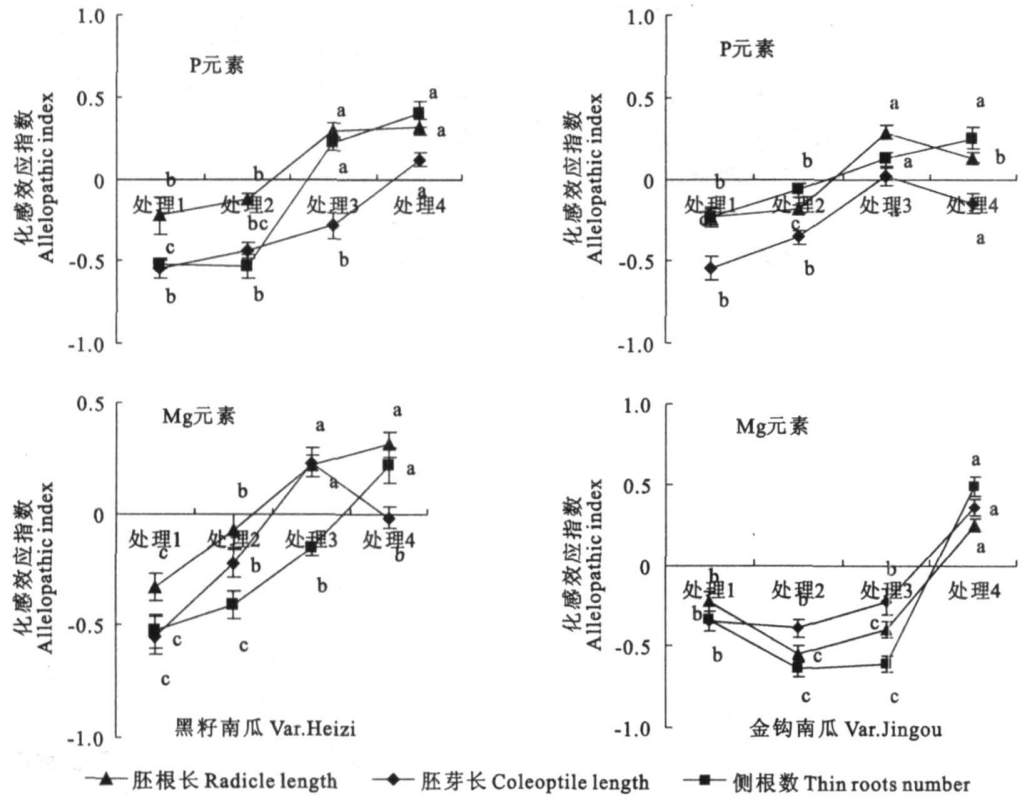


图 1 不同 P 和 Mg 处理对受体幼苗生长的影响

Fig.1 Effect of different P and Mg contents on seedling growth of receptor plants

2.2 微量元素(Fe、Cu 和 B)调控下金钩南瓜组培根的化感响应

金钩南瓜组培根过滤液对黑籽南瓜幼苗生长在 Fe 亏缺时,对胚根长、胚芽长和侧根数均表现为抑制作用。当 Fe 的含量增加到正常条件时,对胚根长和胚芽长则表现为显著的促进作用,对侧根数仍然表现抑制作用,但抑制作用减弱。当 Fe 的含量增加到 $3/2 B_5(0.15 \text{ mmol/L})$ 时,对胚根长、胚芽长和侧根数三者均表现为显著的促进作用,但对胚芽长的促进作用有所减弱。当 Fe 的含量为 $2 B_5(0.20 \text{ mmol/L})$ 时,对胚根长、胚芽长和侧根数均又表现为抑制作用(图 2)。

金钩南瓜组培根过滤液对金钩南瓜幼苗的生长随 Fe 浓度的增加化感抑制作用减弱,当 Fe 的含量增加到 $3/2 B_5(0.15 \text{ mol/L})$ 时对胚根长表现为促进作用,而当 Fe 的含量增加到 $2 B_5(0.20 \text{ mmol/L})$ 时,对胚根长、胚芽长和侧根数均表现为显著的促进作用(图 2)。

随着 Cu 含量的增加,金钩南瓜组培根过滤液对黑籽南瓜各处理的胚根长、胚芽长和侧根数的化感抑制作用减弱,当 Cu 的含量增加到 $3/2 B_5$

($0.234 \mu\text{mol/L}$)时,对胚芽长和侧根数均表现为显著的促进作用,当 Cu 的含量增加到 $2 B_5(0.312 \mu\text{mol/L})$ 时,对胚根长、胚芽长和侧根数均表现为促进作用,且均达到 5%的显著水平(图 2)。

金钩南瓜组培根过滤液对金钩南瓜的表现与黑籽南瓜基本相同,随着 Cu 含量的增加,各处理对胚根长、胚芽长和侧根数的促进作用增强,当 Cu 的含量增加到 $2 B_5(0.312 \mu\text{mol/L})$ 时,对胚芽长的促进作用显著增强(图 2)。

金钩南瓜组培根过滤液对于黑籽南瓜的生长随着 B 含量的增加,各处理对胚根长、胚芽长和侧根数的抑制作用减弱,B 在低浓度时,对胚根长、胚芽长和侧根数均表现为抑制作用。当 B 的含量增加到 $3/2 B_5(48.38 \mu\text{mol/L})$ 时,对胚根长、胚芽长和侧根数的抑制作用并没有显著减弱,而当 B 的含量增加到 $2 B_5(72.75 \mu\text{mol/L})$ 时,显著促进了胚根长、胚芽长和侧根数。当继续增加 B 时,促进作用更加明显(图 2)。

金钩南瓜的表现与黑籽南瓜不完全相同,随着 B 含量的增加,各处理对胚根长、胚芽长和侧根数的抑制作用减弱,但在 B 浓度较高时,对胚根长和侧

根数则表现为抑制作用, 对胚芽长的促进作用也有所减弱(图 2)。

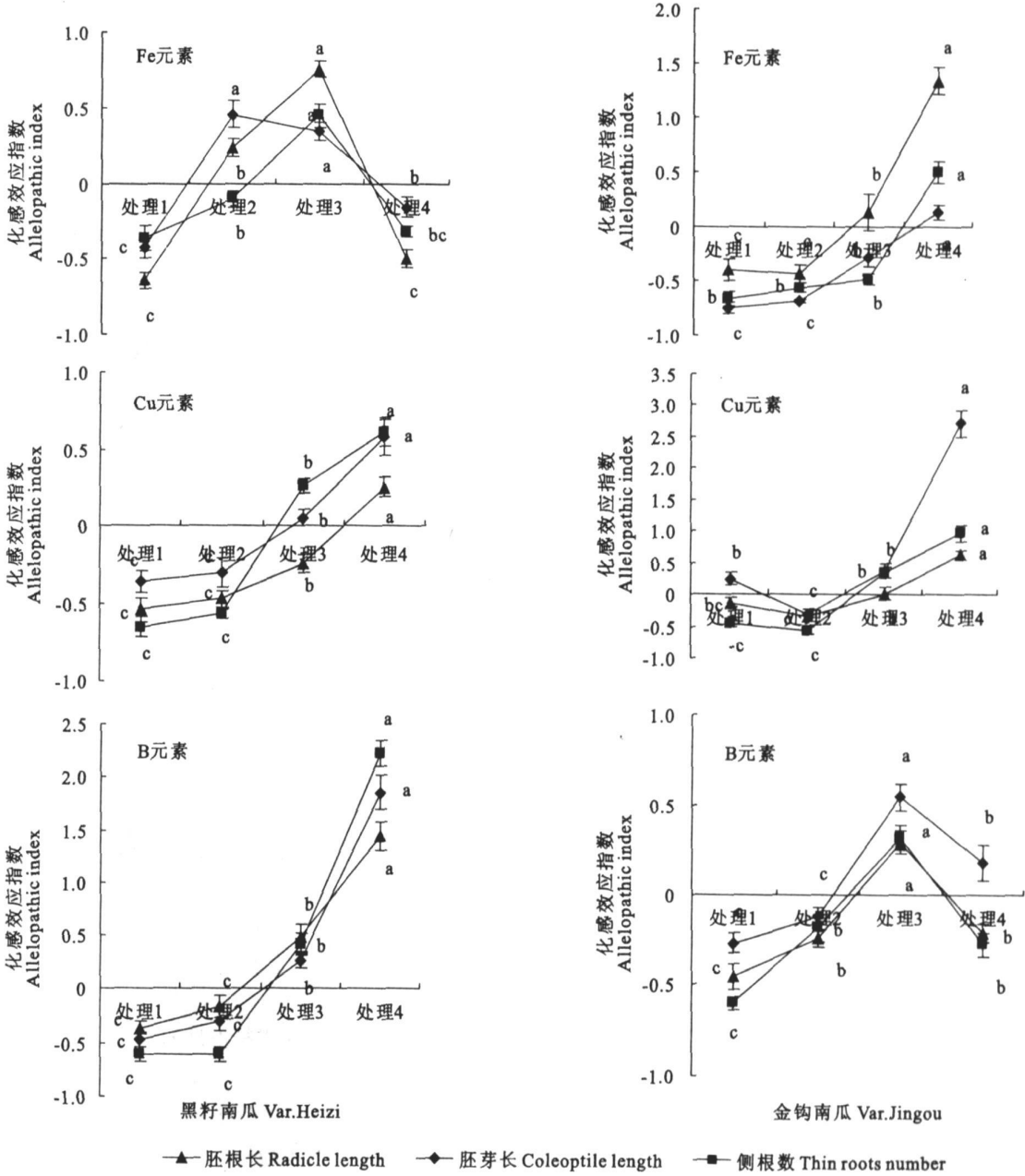


图 2 不同微量元素处理对两种受体幼苗生长的影响

Fig. 2 Effect of different microelement contents on seedling growth of two receptor plants

2.3 营养元素含量与金钩南瓜组培根的化感响应的相关性

P、Cu 和 B 的浓度与组培根化感潜力呈正相关关系, 即 P、Cu 和 B 浓度的增加, 对黑籽南瓜幼苗生长有促进作用, 且随着浓度的增加呈上升趋势(图 3A、图 3D 和图 3E)。

Mg 在 0~2.04 mmol/L (2 B₅) 时其浓度与组培根化感潜力呈正相关关系, 即随着 Mg 浓度的增加, 对黑籽南瓜幼苗生长有促进作用, 但当 Mg 过量(>2.04 mmol/L) 时对黑籽南瓜幼苗生长的促进作

用趋于平缓并有下降的趋势(图 3B)。

Fe 在低浓度时, Fe 浓度与组培根化感潜力呈正相关关系, 但当 Fe 浓度较高时, Fe 浓度与组培根化感潜力则呈负相关关系, 即随着 Fe 浓度的增加, 对黑籽南瓜幼苗生长有抑制作用(图 3C)。

P 在 0~2.20 mmol/L (2 B₅) 时其浓度与组培根化感潜力呈正相关关系, 即随着 P 浓度的增加, 对金钩南瓜幼苗生长有促进作用, 但当 P 过量(>2.20 mmol/L) 时对金钩南瓜幼苗生长的促进作用趋于平缓并有下降的趋势(图 3a)。

Mg、Fe 和 Cu 在低浓度时($<B_5$)时, Mg、Fe 和 Cu 的浓度与组培根化感潜力呈负相关关系, 随着 Mg、Fe 和 Cu 浓度的增加, Mg、Fe 和 Cu 的浓度与组培根化感潜力呈正相关关系, 对金钩南瓜幼苗生长有促进作用, 且有上升趋势(图 3b、图 3c 和图 3d)。

B 在低浓度时, B 浓度与组培根化感潜力呈正相关关系, 但当 B 浓度较高时, B 浓度与组培根化感潜力则呈负相关关系, 随着 B 浓度的增加, 对金钩南瓜幼苗生长有抑制作用(图 3e)。

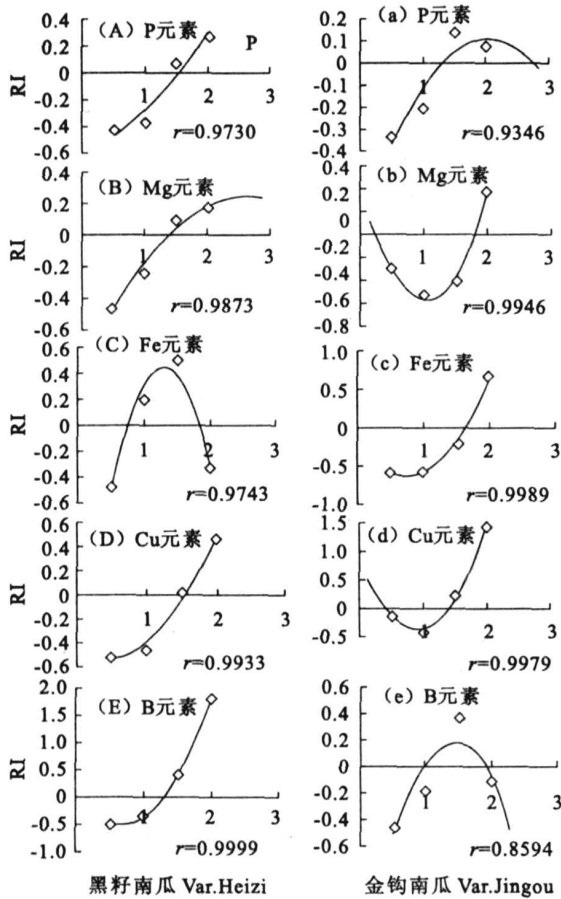


图 3 不同营养元素浓度与组培根化感潜力的相关性拟合曲线

Fig. 3 The fitting cure of the correlation between the different nutrient elements concentrations and cultured roots allelopathic effects

注: x 轴表示元素浓度(B_5 的整数倍); y 轴表示 RI 值, [此处 $RI = (RI_{\text{胚根长}} + RI_{\text{胚芽长}} + RI_{\text{侧根数}})/3$]

Note: x axis is different element concentration (Integer times of B_5); y axis is RI [$RI = (RI_{\text{radicle length}} + RI_{\text{Coleoptile length}} + RI_{\text{Tin roots number}})/3$]

3 讨论

3.1 植物营养环境胁迫与化感作用

营养胁迫下, 南瓜根系分泌物均对受体幼苗生长的化感抑制作用明显增强, 营养胁迫与南瓜根系

分泌物的化感作用间有一定的互作关系, 营养元素浓度不同, 作用效果不同。营养元素不同的丰缺状况刺激南瓜根系向环境释放的化感物质不同, 同时也说明南瓜根系所产生的化感作用是多种化感物质协同作用的结果。培养基成分的改变明显影响了南瓜组培根分泌物的产生, 营养元素的合理搭配可以减轻植物的自毒作用。

3.2 植物营养调控化感潜力的可能机制与合理施肥

无菌条件下排除了微生物区系及其他外界环境对植物生长发育产生的干扰, 明确了南瓜根系化感作用的存在及影响大小。这种研究方法不仅有利于明确南瓜根系所产生的化感物质种类与数量, 同时也为植物所产生的化感物质在其体内代谢机理的研究提供了新思路。营养胁迫、南瓜生长以及根系分泌物的化感抑制作用之间有着相关关系。一方面, 营养胁迫提高了化感抑制的作用强度; 另一方面, 营养胁迫也可以促进抑制物质的合成, 其中可能的机制是营养胁迫下南瓜通过调控自身根系的发育而合成不同类型、不同浓度的物质, 从而表现为促进作用或者抑制作用^[12, 13], 这还需要进一步的实验进行验证。不同营养元素对南瓜组培根化感效应与元素含量显著相关, 同时也与受体有关。五种营养元素在亏缺($1/2 B_5$)和正常(B_5)条件下南瓜组培根均表现为抑制作用, 适量提高某些营养元素浓度($3/2 B_5$ 和 $2 B_5$)可以在某种程度上克服南瓜根系的毒害作用, 过量时反而会增加自毒作用, 如在 $2 B_5$ 含量下, B 元素导致金钩南瓜的自毒作用, 过量的 Fe 能引发金钩南瓜组培根对黑籽南瓜的抑制作用。因此理论上初步得出 P 和 Mg 可以降低南瓜根系的毒害作用, 而 Fe、Cu 和 B 元素对南瓜根系的化感调控作用与品种的选择有关, 这对调控施肥及降低设施农业中葫芦科作物的连作障碍具有重要的参考意义。

参考文献:

[1] 冯志红, 闫立英, 王久兴, 等. 连作栽培中自毒物质对黄瓜种子萌发和幼苗生长的影响[J]. 种子, 2005, 24(6): 41-44.
[2] Wills R. Australian studies on allelopathy in eacahyptus[A]. In: derjit, Dakshini KMM, Foy CL. In Principles and Practices in Plant Ecology, Allelochemical Interactions[C]. New York: CRC Press, 1999. 201-219.
[3] 孔垂华. 植物化感作用研究中应注意的问题[J]. 应用生态学报, 1998, 9(3): 332-336.
[4] 孔垂华, 徐涛, 胡飞, 等. 环境胁迫下植物的化感作用及其诱导机制[J]. 生态学报, 2000, 20(5): 849-854.
[5] 袁光林, 马瑞霞. 化感物质对土壤脲酶活性的影响[J]. 环境科学, 1998, 19(2): 55-57.

[6] Steinsiek J W, Oliver L Q, Collins F C. Allelopathy potential of wheat (*Tritium astound*) straw on selected weed species [J]. *Weed Science*, 1982, 30: 495—497.

[7] Einhellig F A, Souza I F. Phytotoxicity of sorgoleone found in grain sorghum root exudates [J]. *Journal of Chemical Ecology*, 1992, 18: 1—11.

[8] 喻景权, 杜尧舜. 蔬菜设施栽培可持续发展中的连作障碍问题 [J]. *沈阳农业大学学报*, 2000, 31(2): 124—126.

[9] 梁银丽. 日光温室不同连作年限对黄瓜生理特征的影响 [J]. *西北植物学报*, 2003, 23(8): 1398—1401.

[10] 李 明, 马永清, 税军峰. 南瓜组培根根系分泌物的化感效应研究 [J]. *应用生态学报*, 2005, 16(4): 774—749.

[11] Williamson G B, Richardson D. Bioassays for allelopathy: Measuring treatment responses with independent controls [J]. *Journal of Chemistry Ecology*, 1988, 14(1): 181—187.

[12] Yamasaki S H, Fyles J W, Titus B D. Interactions among *Kalmia angustifolia*, soil characteristics, and the growth and nutrition of black spruce seedlings in two boreal Newfoundland plantations of contrasting fertility [J]. *Canadian Journal of Forest Research*, 2002, 32(12): 2215—2224.

[13] Stavrianakou S, Liakopoulos G, Karabourniotis G. Boron deficiency effects on growth, photosynthesis and relative concentrations of phenolics of *Dittrichia viscosa* (Asteraceae) [J]. *Environmental and Experimental Botany*, 2006, 56(3): 293—300.

A preliminary study on adjustment of nutrient elements for allelopathic effect of *Cucurbita moschata* M. cultured roots

YUAN Cui-ping¹, SHUI Jun-feng², JIN Fu-ping¹, WANG De-sheng¹, MA Yong-qing^{1,2*}

(1. College of Resources and Environment, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: By regulating components in B₅ culture media, under four concentrations (1/2 B₅, B₅, 3/2 B₅, and 2 B₅) of the five necessary elements (P, Mg, Fe, Cu, and B), allelopathic effect of pumpkin root culture (Var. Jingou) filtrates on the growth of two receiving plant seedlings (*Cucurbita moschata* M. Var. Jingou and Var. Heizi) were studied. The results indicated that different elements showed various effects on growth of receiving plant seedlings, which depended significantly on their corresponding contents and varieties of the accepting plants. Pumpkin cultured roots filtrates exhibited marked inhibition under deficit (1/2 B₅) and normal (B₅) nutrient circumstance. And under enhanced nutrients conditions (3/2 B₅ and 2 B₅), it generally showed significant stimulation effects. Fe and B redundancy would lead to certain inhibition. On the other hand, under the most redundant environment (2 B₅), B element causes strong auto-toxic effects of Var. Jingou. Meanwhile, Fe would induce inhibitory effect of Var. Jingou cultured roots on seedlings growth on seedling growth of Var. Heizi. In conclusion, it was preliminarily derived that both P and Mg elements could eliminate phytotoxic activity of pumpkin cultured roots. However, Fe, Cu, and B elements showed allelopathy regulation of pumpkin, which depend on acceptors accessions. The results of this study could provide important reference and guidance for removing the obstacles of continuous cropping by fertilizer manipulations in modern sustainable agriculture.

Key words: *Cucurbita moschata* M. Var. Jingou; cultured root; allelopathic effects; nutrient regulation