

南瓜组培根根系分泌物的化感效应研究*

李明^{1,3} 马永清^{1,2,*} 税军峰^{1,2}

(¹中国科学院水土保持与生态环境研究中心, 杨凌 712100; ²西北农林大学水土保持研究所, 杨凌 712100;

³中国科学院研究生院, 北京 100039)

【摘要】 使用组织培养技术、生物测试法及室内分析相结合的方法研究了南瓜组培根在不同生长时期与不同营养胁迫下(利用正交设计调节标准 B₅ 培养基中的大量元素、微量元素、有机质和激素)根分泌物对南瓜、萝卜和小麦 3 种受体的种子萌发及幼苗生长的化感作用。结果表明,南瓜具有自毒作用,南瓜组培根根系分泌物对受体幼苗生长的抑制作用呈现出高抑低促的作用表型;南瓜组培根根系分泌物产生化感作用的活性与南瓜组培根生长速度有关,南瓜组培根根系分泌物的生长抑制活性以 15~17 d 即生长速度指数末期为最高,21 d 生物量最大时的南瓜组培根根系分泌物的生长抑制活性最低;营养元素的改变明显影响了南瓜根系分泌物的产生,并通过筛选出能诱导南瓜组培根对受体具有强烈抑制作用的大量元素、微量元素、维生素和激素种类和含量的最优化组合,为研究南瓜化感作用营养胁迫机理提供依据。

关键词 南瓜 根系分泌物 化感作用 组培 正交技术

文章编号 1001-9332(2005)04-0744-06 **中图分类号** Q948.12⁺2.1 **文献标识码** A

Allelopathic effects of cultured *Cucurbita moschata* root exudates. LI Ming^{1,3}, MA Yongqing^{1,2}, SHUI Junfeng^{1,2} (¹Research Center of Soil and Water Conservation and Ecology Environment, Chinese Academy of Sciences, Yangling 712100, China; ²Institute of Soil and Water Conservation, Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, Yangling 712100, China; ³Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China). -Chin. J. Appl. Ecol., 2005, 16(4):744~749.

By using the techniques of tissue culture, bio-assay and laboratory analysis, this paper studied the effects of the allelopathic chemicals from pumpkin (*Cucurbita moschata*) roots on the seed germination and seedling growth of pumpkin, wheat (*Triticum aestivum*), and radish (*Raphanus sativus*). The pumpkin root was cultured on a sterile B₅ media, and the concentrations of macro- and microelements, organic supplements and hormones in the media were adjusted by using an orthogonal design. After culturing, the culture media was filtered and used in a bioassay to test the autotoxicity and allelopathic effects. The results showed that the pumpkin had both autotoxic and allelopathic effects, and the media having been used to culture the pumpkin roots contained the chemicals that significantly inhibited the seedling growth of wheat and radish. The allelopathic effect decreased when the culture media was diluted. The production of allelochemicals seemed to be related to the growth rate of the pumpkin roots. When the root growth was rapid, the concentration of allelochemicals was high. The allelopathic effect was stronger on radish than on wheat. The optimum concentrations of macro- and microelements, vitamins and hormones for culturing pumpkin root were determined, and the effect of pumpkin root nutrition on the production of allelochemicals was tested. The results indicated that pumpkin root nutrition had a significant effect on the production of allelochemicals.

Key words *Cucurbita moschata*, Root exudates, Allelopathy, Orthogonal design.

1 引言

葫芦科蔬菜生产中连作栽培是较普遍现象^[15,17~19]。关于黄瓜连作障碍的原因,早期许多学者较多地从土壤理化和生物因素两方面,例如在土壤养分、土壤物理化学性质、土壤生物、植物的毒素物质等方面已进行了有益的探索^[9,11~16,21,22],取得了较好的研究成果,但在理论上仍未完全探明黄瓜连作障碍的原因。植物在逆境胁迫(营养胁迫、弱光、水分、高温高湿与植物病虫害等生物和非生物因素)下,往往向环境释放化学物质对周围不良的生境条件产生间接或直接的伤害或促进作用,这种作用即

为化感作用^[14]。黄瓜原生根系分泌物和残体腐解产物的化感作用研究已有报道^[9,10,23],而对生产上广泛采用的嫁接技术中作为砧木的南瓜根系分泌物对连作障碍的影响关注不多^[19]。梁银丽^[7]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年以后,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黄瓜等葫芦科蔬菜连作障碍中的一个不容忽视的因素之一,但国内外尚未有此方面的报道,更缺少有关南瓜根系分泌物引起化感作用的直接证据。

* 中国科学院知识创新工程资助项目(KZCX1-60)。

** 通讯联系人。

2004-07-02 收稿,2004-11-22 接受。

建立一套简易而科学的研究方法是化感作用研究是否取得成效的关键.目前在化感物质的根分泌^[6]和残株分解^[4]两种途径的研究方法时,众多学者都在方法上寻求有所突破,以求能够排除土壤和微生物作用^[3],明确化感物质的真正来源与其在植物体内的可能代谢机理.因此,我们采用组织培养技术^[2]在无菌条件下对南瓜根进行液体培养,于室内试验条件下排除光、温度与水等因子并利用正交设计进行组合处理构成不同的营养条件,同时进行化感作用的生物测试,研究南瓜组培根分泌物所产生的化感作用,以期为连作障碍中的化感作用提供证据和研究其对策提供参考.

2 材料与方法

2.1 试验材料

供试材料为金钩南瓜(*Cucurbita moschata*),受试材料为小麦(*Triticum aestivum*)、萝卜(*Raphanus sativus*)及南瓜品种特产日本蜜甜南瓜和无蔓1号(*Cucurbita moschata*).所用种子均由市场购回.

2.2 南瓜组培根的获得

将金钩南瓜种子流水处理24 h后,在无菌条件下将种子先用75% (V/V)酒精超声波表面消毒1 min,无菌水清洗3~5次,然后用1%次氯酸钠超声波消毒5 min,无菌水清洗3~5次后在无菌操作下播入装有50 ml改良B₅^[1]琼脂培养基的200 ml三角瓶中(KNO₃ 24.64 mmol·L⁻¹, (NH₄)₂SO₄ 2.06 mmol·L⁻¹, MgSO₄·7H₂O 1.00 μmol·L⁻¹, CaCl₂·2H₂O 1.00 mmol·L⁻¹ NaH₂PO₄·2H₂O 1.10 mmol·L⁻¹, Na₂-EDTA 0.1 mmol·L⁻¹, FeSO₄·7H₂O 0.10 mmol·L⁻¹, MnSO₄·7H₂O 62.78 μmol·L⁻¹, ZnSO₄·7H₂O 6.94 μmol·L⁻¹, Na₂MoO₄·2H₂O 1.03 μmol·L⁻¹, CuSO₄·5H₂O 0.16 μmol·L⁻¹, CoCl₂·6H₂O 0.10 μmol·L⁻¹, KI 4.52 μmol·L⁻¹, 烟酸(C₆H₅NO₂) 8.12 μmol·L⁻¹, 盐酸硫胺素(C₁₂H₁₇CLN₄OS·HCL) 29.65 μmol·L⁻¹, 盐酸吡哆醇(C₈H₁₁NO₃·HCL) 4.86 μmol·L⁻¹, 肌醇(C₆H₁₂O₆) 0.56 μmol·L⁻¹, NAA 2.15 μmol·L⁻¹), 调pH为5.60,置于25℃、8 h光照光强为2 000 Lx智能培养箱中培养.8 d后待幼根长至3~5 cm时在无菌条件下取出,用无菌水洗净琼脂,切取1 cm长的幼根,转接至改良B₅液体培养基中.放置于70 r·min⁻¹的摇床上,在25℃黑暗环境中培养19 d后取其幼根转入新的改良B₅液体培养基中继代培养,如此反复多次继代培养形成稳定的培养根.

2.3 南瓜组培根根系分泌物的化感效应试验

2.3.1 南瓜组培根根系分泌物的自毒作用 自毒作用实验的受体为特产日本蜜甜南瓜和无蔓1号.采用种子发芽试验来进行南瓜组培根根系分泌物自毒作用的生物评价.取南瓜组培根(鲜重约0.1 g)接种在装有25 ml改良B₅液体培养基的100 ml三角瓶中培养.培养19 d后收取培养基抽滤液并稀释为5倍和10倍的稀释液分别作为培养介质,对两种南瓜种子

进行培养皿滤纸生物测试.分别取3 ml不同浓度的处理液加入放有2层普通定性滤纸直径为9 cm的玻璃培养皿中.精选饱满一致的南瓜种子,特产日本蜜甜南瓜播前流水浸种处理36 h,无蔓1号流水浸种处理24 h后,分别按每皿7粒均匀摆放于培养皿中,并以蒸馏水作对照,每个处理设3个重复,置于25±1℃的恒温箱中培养,分别于23、25、27和31 h测量南瓜种子的发芽率,在培养72 h后测量无蔓1号胚根、胚芽长,48 h测量特产日本蜜甜南瓜胚根、胚芽长.

2.3.2 不同生长时期南瓜组培根根系分泌物的化感效应试验

南瓜组培根的接入量与生长条件和2.3.1相同.每隔2 d接种相同质量且长势基本一致的鲜根,累计7次,从团聚期(11 d)开始至生长后期(25 d),同期收获.分别用不同培养时期的培养基抽滤液做培养介质,对萝卜、小麦进行直播做发芽试验,每皿10粒,设3个重复,置于25±1℃的恒温箱中培养.测量培养48 h时萝卜胚根长、64 h时小麦胚根和胚芽长.

2.3.3 南瓜组培根在不同营养胁迫下根系分泌物的化感效应试验

调节南瓜生长的B₅培养基组分,对南瓜组培根产生营养胁迫.采用L₉(3ⁿ)^[8]正交实验设计,利用发芽试验研究营养元素及激素对南瓜组培根根系分泌物的影响,并筛选出组培根分泌物对受体产生抑制作用最强的营养元素组合.实验设3个水平,分别为1/2 B₅、B₅、3/2 B₅的浓度水平,分别从蔗糖和大量元素、微量元素、有机质和激素4个层次来调节,各组试验所考虑的因素均为B₅基本培养基成分.每个层次设9个处理,每个处理4次重复.其中培养基中的K源自KNO₃,其含量变化与NO₃⁻含量一致;S源自(NH₄)₂SO₄和MgSO₄·7H₂O,其含量与NH₄⁺和Mg²⁺含量相关,故对K和S不再作专门探讨.N总量为NO₃⁻与NH₃⁺含量之和,两者含量之比为1:12.添加的辅助成分:蔗糖及其3水平分别为1%、2%和3%;NAA及其3水平分别为1.07、2.15和3.21 μmol·L⁻¹;IBA及其3水平分别为0、0.98和1.48 μmol·L⁻¹.实验采用100 ml三角瓶,每瓶装改良B₅培养基25 ml,转接无菌组培根0.1 g.摇床培养19 d后取其不同培养基抽滤液作为培养介质,用小麦、萝卜作受体进行发芽试验,每皿10粒,设3个重复,置于25±1℃的恒温箱中培养.测量培养48 h时萝卜胚根长、64 h时小麦胚根和胚芽长.

2.4 数据处理方法

采用SAS统计软件对调查数据进行方差分析,对方差分析显著的数据在进行LSD多重比较并以南瓜、小麦、萝卜胚根和胚芽长为指标进行极差分析.

3 结果与分析

3.1 不同生长时期南瓜组培根根系分泌物的化感效应

南瓜组培根生长周期大约为21 d,21 d后组培根开始由白变为深黄色,根基本停止生长.在南瓜生长的整个周期内,第0~13 d为生长的延迟期,13~

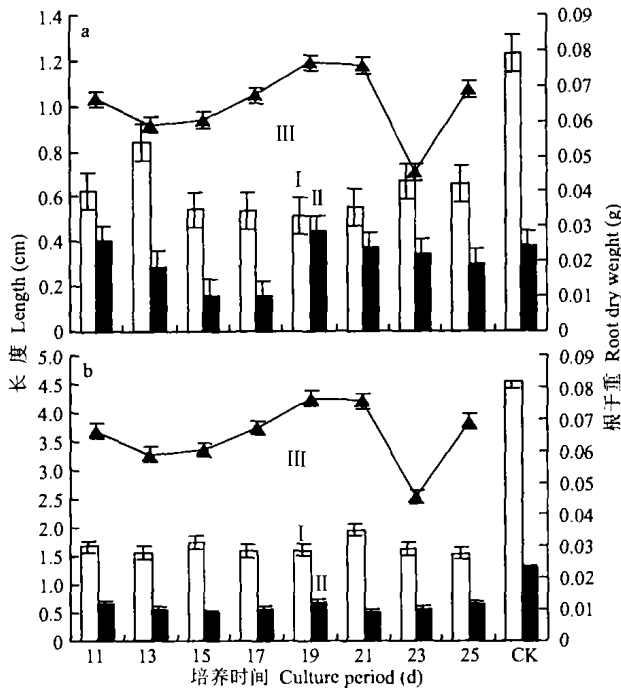


图1 不同生长期南瓜组培根根系分泌物对萝卜(a)和小麦(b)幼苗生长的影响

Fig. 1 Effect of pumpkin and root exudates on seedling growth of radish (a) and wheat (b) at different growth periods.

I. 胚根长 Radicle length; II. 胚芽长 Coleoptile length; III. 根干重 Root dry weight.

19 d 为生长的指数期, 19 d 以后为稳定期(图 1 III), 但在 21 d 后也就进入了衰老期. 南瓜组培根在整个生长周期内, 生长量变化呈“S”曲线, 整个生长周期生长趋势为生长量不断增加, 21 d 后基本停止生长(图 1 III).

南瓜组培根分泌物对小麦胚根和胚芽生长的抑制作用大体相似. 组培根分泌物对小麦胚根和胚芽的抑制作用较强的时期均出现在组培根指数生长期, 其细微差别是对胚芽生长抑制作用最强的时期出现在指数生长期的前期, 即 15 d 左右, 也就是说在这个时期南瓜组培根生长最旺盛, 分泌物最多, 其对小麦胚根与胚芽生长量约为对照的 50%, 随着向

稳定期的移动, 抑制作用减弱(图 1 b). 南瓜组培根分泌物对萝卜胚根和胚芽生长也表现出一定抑制作用, 但与小麦相比其所受的抑制程度较弱(图 1 a).

在整个生长周期中, 南瓜组培根分泌物对不同植物种子幼苗抑制作用较强的时期均出现在组培根的指数生长期, 在这个时期是新根快速生长的时期, 组培根分泌物也最多. 可能因为在组培根延迟生长期, 主要是刚转接的组培根愈伤组织的生长过程, 植物次生物质分泌的少; 而在生长稳定期, 组培根已衰老并且在指数生长期的分泌物在 25 °C 下随培养天数的增加也在慢慢降解, 说明南瓜产生化感作用的活性大小与其根生长速度有关, 这种作用特性可在指导生产实践中砧木南瓜生长年限的选择提供一定理论基础.

3.2 南瓜组培根根系分泌物的自毒作用

通过对南瓜不同培养时期的根系分泌物对萝卜和小麦所产生的抑制作用分析可知, 19 d 时, 南瓜组培根由生长指数期转入稳定期, 此时可以相对标准一致地研究其根系分泌物的化感作用强弱. 结果表明, 培养 19d 后南瓜组培根根系分泌物及其不同浓度稀释液具有自毒作用. 培养基过滤液、5 倍稀释液与 10 倍稀释液对日本蜜甜南瓜和无蔓 1 号南瓜种子的萌发均产生抑制作用, 抑制作用随着化感物质浓度的降低而减弱. 3 种浓度的组培根根系分泌物对受体最终发芽率都有显著影响, 在浓度依次为培养基过滤液、5 倍稀释液与 10 倍稀释液的组培根根分泌物中, 日本蜜甜南瓜的最终发芽率分别为 20%、81% 和 86%, 与对照(发芽率 96%)相比低 20%~76%; 无蔓 1 号的最终发芽率为 46%、54% 和 68%, 与对照相比(发芽率 89%)低 21%~45%. 因此, 南瓜组培根根系分泌物不仅延缓受试种子的发芽, 而且也降低了它们的最终发芽率, 其中在受抑制程度上蜜甜南瓜大于无蔓 1 号(表 1).

表 1 南瓜组培根分泌物对两种受体发芽率及胚根生长的影响(LSD 检验)

Table 1 Effect of pumpkin cultured root exudates on germination rate and radicle growth of two acceptors (LSD test)

品种 Varieties	处理 Treatments	培养时间 Time(h)				胚根长 Radicle length(cm)
		23h	25	27	31	
日本蜜 甜南瓜 Tehkanmitian	对照 CK	24a	81a	81a	95a	4.4a
	10 倍稀释液 10-fold	4ab	52a	67a	86a	4.5a
	5 倍稀释液 5-fold	0b	0b	10b	81a	3.9a
无蔓 1 号 Wuman No. 1	培养基过滤液 Culture filtrate	5ab	5b	20b	20b	1.6b
	对照 CK	79a	89a	89a	89a	5.2a
	10 倍稀释液 10-fold	57a	68a	68a	68a	4.6a
	5 倍稀释液 5-fold	54a	54a	54a	54a	4.3a
	培养基过滤液 Culture filtrate	36b	46b	46b	46b	1.1b

* 不同字母表示在 95% 置信区间内差异显著 Different letters mean the significant difference at 95% confidence interval.

南瓜组培根根系分泌物在原液浓度下对两种受体的胚根生长与对照相比也表现出显著的抑制作用,随着浓度减低抑制程度减弱,其中日本蜜甜南瓜在 10 倍稀释液的作用浓度下对胚根生长表现出了一定程度的促进作用(表 1).

3.3 营养胁迫下南瓜组培根根系分泌物的化感效应

由图 2 可知,9 个营养元素胁迫处理,尽管组分间含量不同,但 19 d 后根系分泌物与对照相比,对萝卜和小麦受体种子的幼苗生长作用表现出一致的规律性,不同程度地抑制了受体幼苗的生长,在一定浓度条件下表现为差异显著或极显著水平,表明南瓜具有自毒作用.

由图 2 a、c 可见,从总体上看,南瓜根系分泌物对萝卜胚根与胚芽萌发的抑制作用规律基本上一致.大量元素组分调节不同处理间的受抑程度强于微量元素组分调节和激素组分调节不同处理间的差异程度.其中大量元素组分调节处理下对萝卜胚根生长可分为 4 级:处理 2 产生的抑制作用最强;其次是处理 3、处理 5、处理 6;再次是处理 4、处理 1 和处理 8;处理 9 和处理 7 产生的抑制作用最弱($P = 0.05$).微量元素组分调节处理下对萝卜胚根生长产

生的抑制作用不同处理间可分为 3 级:处理 7 产生的抑制作用最强;再次是处理 2、处理 5、处理 6、处理 8 与处理 9;处理 1 与处理 4 产生的抑制作用最弱,与对照相比无显著差异($P = 0.05$).维生素组分调节处理下对萝卜胚根长产生的抑制作用与对照相比受抑作用最大,生长仅有对照的 50%,其不同处理间可分为 3 级,对于胚芽生长则处理 3 抑制作用最强,处理 1、处理 5、处理 6 和处理 9 的产生的抑制作用较弱,其余处理介于两者之间(图 2).这说明不同层面上的营养条件因参与植物生长发育物质代谢过程不同,对其根系分泌物的影响不同,其中微量元素与维生素因其参与植物次生代谢过程中的特殊功能,对根系分泌物的影响较大同时也说明营养元素的合理搭配可以减轻自毒作用.

对小麦胚芽生长,除激素处理所获的各种根系分泌物对其产生促进作用且与对照之间差异显著外,其余 3 种处理所获的各种根系分泌物均表现出不同程度的抑制作用,其中微量元素处理与对照相比差异显著.另外 4 个层次上的各自不同的 9 个处理间均有显著差异.

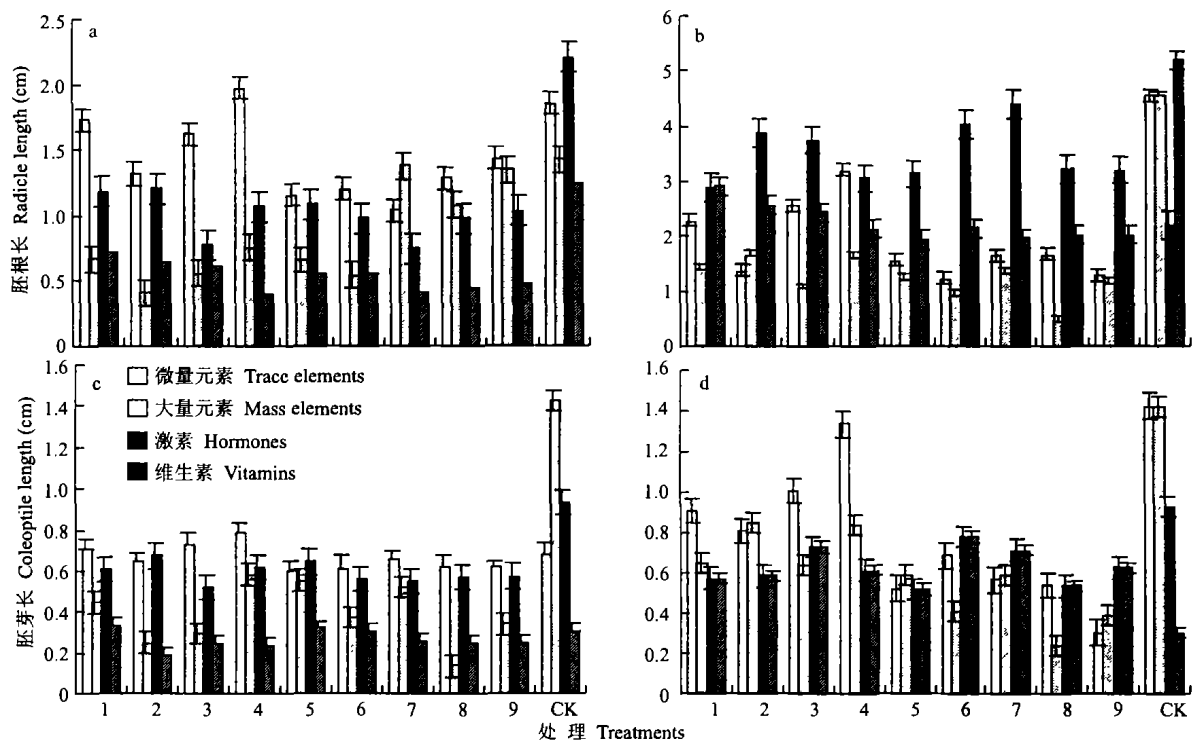


图 2 不同营养元素胁迫下南瓜组培根分泌物对小麦、萝卜幼苗生长的影响

Fig. 2 Effect of pumpkin cultured root exudates on seedling growth of radish and wheat under different nutrition stress.

a) 萝卜胚根 Radish radicle; b) 小麦胚根 Wheat radicle; c) 萝卜胚芽 Radish coleoptiles; d) 麦胚芽 Wheat coleoptiles. 图中阿拉波数字代表的是由 B_5 中的营养元素分别按 3 个水平参照 $L_9(3^3)$ 正交表所得的 9 个组合,其中 3 水平的浓度梯度分别为 $1/2 B_5$ 、 B_5 、 $3/2 B_5$ 的浓度含量 The number in Arabic figures showed the different crossed combinations: 3 concentrations grades as levels that the elements level is the concentration of $1/2 B_5$, B_5 and $3/2 B_5$ respectively and 4 different arrangements: mass elements, trace elements, organic matters and hormones matters using $L_9(3^3)$ table.

比较4组试验中的9个处理所对应的萝卜胚芽长平均值,可知营养元素对萝卜胚芽生长的抑制作用强弱顺序为微量元素(0.66 cm) < 激素(0.59 cm) < 大量元素(0.37 cm) < 维生素(0.26 cm). 小麦胚芽生长的抑制作用强弱规律与此相同. 营养元素对萝卜胚根生长的抑制作用强弱顺序为微量元素(1.42 cm) < 激素(1.01 cm) < 大量元素(0.89 cm) < 维生素(0.53 cm); 对小麦胚根生长的抑制作用强弱顺序则为激素(3.51 cm) < 维生素(2.24 cm) < 微量元素(1.85 cm) < 大量元素(1.19 cm). 这说明南瓜因其不同的营养元素的丰缺供应,构成了植物不同的生长环境,从而对南瓜机体的生物构件种类与数量产生了不同作用,也导致了植物在面对不同环境条件下其自身保护系统的分泌机理不同.

为衡量各不同营养元素对南瓜所产生的化感作用强弱的影响,本实验分别采用萝卜与小麦胚根与胚芽长为评价指标进行数据处理,求得不同指标下各因子的极差(R)或以指标均值为纵坐标,因素为横坐标做指标因素关系图,从极差值的大小或图中点波动大小可见各指标下影响因素的主次.

以大量元素处理下萝卜胚根长的9个处理为例

表3 不同营养胁迫下各营养因子对受体幼苗生长的抑制作用顺序

Table 3 Sequence of nutrient elements according to the inhibition on the acceptors seedling growth under different nutrition stress

指标 Index	大量元素 Mass elements	微量元素 Trace elements	维生素 Vitamins	激素 Hormones
萝卜胚根长 Radicle length of radish	Suc < Ca < N < Mg < P	Mo < Fe < Mn < C	C ₈ H ₁₂ ClNO ₃ < C ₆ H ₅ O ₂ N	IBA < NAA
萝卜胚芽长 Coleoptiles length of radish	N = Ca < Suc < P < Mg	< B < Co < Zn < I	< C ₁₂ H ₁₈ Cl ₂ N ₄ OS < C ₆ H ₁₂ O ₆	IBA < NAA
小麦胚根长 Radicle length of wheat	Suc < N < Ca < Mg < P	Mn < Zn < Mo < Co	< C ₆ H ₅ O ₂ N < C ₈ H ₁₂ ClNO ₃	IBA < NAA
小麦胚芽长 Coleoptiles length of wheat	Suc < N < Ca < Mg < P	< I < Fe < Cu < B	< C ₆ H ₁₂ O ₆ < C ₁₂ H ₁₈ Cl ₂ NS	IBA < NAA
		Mn < Zn < Mo < Co	< C ₈ H ₁₂ ClNO ₃ < C ₆ H ₅ O ₂ N	IBA < NAA
		< I < B < Cu < Fe	< C ₆ H ₁₂ O ₆ < C ₁₂ H ₁₈ Cl ₂ NS	IBA < NAA
		Mn < Zn < Mo < Co	< C ₈ H ₁₂ ClNO ₃ < C ₆ H ₅ O ₂ N	IBA < NAA
		< I < Fe < Cu < B	< C ₆ H ₁₂ O ₆ < C ₁₂ H ₁₈ Cl ₂ NS	

Suc:蔗糖 Sucrose. 下同 The same below.

表4 对受体具有最弱抑制作用的营养因素水平优化组合

Table 4 Optimal content combinations of nutrient elements with the weakest inhibiting effect on the acceptors seedling growth

处理 Treatments	营养元素 Nutrient elements	胚根长 Radicle length		胚芽长 Coleoptiles length	
		萝卜 Radish	小麦 Wheat	萝卜 Radish	小麦 Wheat
大量元素 Mass elements	Suc(g·L ⁻¹)	1	1	3	3
	N(mmol·L ⁻¹)	40.20	26.80	26.80	40.20
	P(mmol·L ⁻¹)	0.55	0.55	0.55	0.55
	Ca(mmol·L ⁻¹)	1.0	1.0	0.50	0.50
	Mg(μmol·L ⁻¹)	1.53	1.53	1.53	1.02
微量元素 Trace elements	Fe(mmol·L ⁻¹)	0.10	0.15	0.15	0.15
	Mn(μmol·L ⁻¹)	62.78	62.78	94.17	94.17
	Cu(μmol·L ⁻¹)	0.16	0.08	0.24	0.24
	Zn(μmol·L ⁻¹)	6.94	6.94	10.42	10.42
	B(μmol·L ⁻¹)	24.19	72.57	24.19	24.19
	Mo(μmol·L ⁻¹)	0.26	1.03	1.55	1.55
	Co(μmol·L ⁻¹)	0.05	0.10	0.15	0.15
	I(μmol·L ⁻¹)	2.26	4.52	4.52	4.52
维生素 Vitamins	C ₈ H ₁₂ ClNO ₃ (μmol·L ⁻¹)	7.29	7.29	7.29	4.86
	C ₁₂ H ₁₈ Cl ₂ N ₄ OS(μmol·L ⁻¹)	26.80	26.80	26.80	26.80
	C ₆ H ₅ O ₂ N(mmol·L ⁻¹)	0.55	1.10	1.65	1.65
	C ₆ H ₁₂ O ₆ (μmol·L ⁻¹)	1.00	1.00	1.50	1.50
激素 Hormones	NAA(μmol·L ⁻¹)	1.2	0.4	0.8	0.4
	IBA(μmol·L ⁻¹)	1.48	0	0.98	0.98

进行极差分析.由表2可见,大量元素处理中各因子3水平所对应南瓜组培根分泌物对萝卜胚根长的平均值大小为:蔗糖因素, X3 > X2 > X1; N 总量因素, X1 > X3 > X2; P 含量因素, X3 > X2 > X1; Ca 含量因素, X1 > X3 > X2; Mg 含量因素, X1 > X2 > X3, 说明对萝卜胚根长产生抑制作用最强的大量元素含量组合为:蔗糖 1% + (NH₄)₂SO₄ 1.01 mmol·L⁻¹ + KNO₃ 24.75 mmol·L⁻¹ + NaH₂PO₄·H₂O 0.55 mmol·L⁻¹ + CaCl₂·2H₂O 1.00 mmol·L⁻¹ + MgSO₄·7H₂O 1.02 mmol·L⁻¹. 对各因素极差大小比较,

表2 大量元素处理 L₉(3³) 正交试验统计结果

Table 2 Statistical result for L₉(3³) orthogonal test under mass elements nutrition stress

处理 Treatment	营养元素 Nutrient elements	萝卜胚根长均值 Means of radicle length of radish			极差 R
		X1	X2	X3	
大量元素 Mass elements	蔗糖 Sucrose	0.55	0.65	1.27	0.72
	N	0.93	0.72	0.81	0.22
	P	0.76	0.84	0.86	0.10
	Ca	0.92	0.68	0.86	0.25
	Mg	0.90	0.84	0.73	0.18

X1, X2 和 X3 分别代表各因子在 1/2 B₅ 水平、B₅ 水平和 3/2 B₅ 浓度水平作用下萝卜胚根长的平均值 X1, X2 and X3 showed the average of radicle length of radish under 3 concentrations grades as levels that the elements level is the concentration of 1/2 B₅, B₅ and 3/2 B₅, respectively.

极差值越大说明该因子贡献值越大,即说明蔗糖总量对萝卜胚根生长的抑制活性最小, N 总量、Ca 含量、Mg 含量次之, P 总量对萝卜胚根生长的抑制活性最大. 其余 3 个层次上的 9 个处理的极差分析方法同上, 筛选出克服南瓜根系分泌物化感作用的最优化的营养元素水平组合. 不同处理中各因子对指标的贡献大小顺序见表 3, 具有最弱抑制作用的营养水平优化组合见表 4.

4 讨论

本研究结果表明, 南瓜具有自毒作用. 生长良好的南瓜组培根根系分泌物明显地抑制了自身种子的发芽及幼苗生长, 且随着浓度增大抑制作用增强. 在以南瓜为砧木的黄瓜等葫芦科蔬菜连作栽培中, 常见到植物根系发育不良、植株生育状况差的现

象^[20],这可能与南瓜根系产生的化感物质在土壤中的累积有关.由于本研究是在无菌条件下进行的,排除了微生物区系及外界环境条件对化感物质的影响.因此,这种研究方法不仅有利于明确南瓜根所产生的化感物质种类与数量,也有利于根据化感物质对其在植物体内的代谢机理进行研究.

不同营养元素营养胁迫下 9 个处理间的差异表明,南瓜幼苗根系分泌物所释放出的化感物质的数量或种类不同,这说明不同营养元素的丰缺状况能刺激南瓜根向环境释放不同化感物质,同时也说明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根分泌物的产生,植物体的营养胁迫应是植物产生化感作用的一个关键因子^[5],营养元素合理搭配可以减轻植物的自毒作用.为了揭示黄瓜等葫芦科蔬菜中的连作障碍机理和减轻连作障碍,有必要进一步研究南瓜根系尤其是特异性根系分泌物的种类和数量,并探明这些物质及其协同作用与葫芦科蔬菜生理代谢失调,产量降低,品质变劣,病虫害严重发生的关系.

参考文献

- 1 Cao Z-Y(曹孜义), Liu G-M(刘国民). 2001. Plant Tissue Culture. Nanzhou: Gansu Science and Technology Press. 48 (in Chinese)
- 2 Du Y-J(杜英君), Jin Y-H(靳月华). 1999. Simulations of allelopathy in continuous cropping of soybean. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), 10(2): 209~212(in Chinese)
- 3 Kong C-H(孔垂华). 1998. Problems needed attention on plant allelopathy research. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), 9(3): 332~336(in Chinese)
- 4 Kong C-H(孔垂华), Hu F(胡 飞), Chen X-H(陈雄辉). 2002. Assessment and utilization of allelopathic crop varieties resources. *Sci Agric Sin* (中国农业科学), 35(9): 1159~1164(in Chinese)
- 5 Kong C-H(孔垂华), Xu T(徐 涛), Hu F(胡 飞). 2000. Allelopathy and its inducement mechanism under environment stress. *Acta Ecol Sin* (生态学报), 20(5): 849~854(in Chinese)
- 6 Kong C-H(孔垂华), Xu X-H(徐效华), Hu F(胡 飞). 2002. Using specific secondary metabolites as markers to evaluate allelopathic potential of rice varieties and their individual plants. *Chin Sci Bull* (科学通报), 47(3): 203~206(in Chinese)
- 7 Ling Y-L(梁银丽). 2003. The effect of continuous cropping year on physiological characteristics of cucumber in sunlight greenhouse. *Acta Bot Boreal-Occident Sin* (西北植物学报), 23(8): 1398~1401(in Chinese)
- 8 Luan J(栾 军). 1994. Optimize Methods of Experiment Design in Modern Times. Shanghai: Shanghai Traffic University Press. 54 (in Chinese)
- 9 Lu W-G(吕卫光). 2002. Allelopathic effect of crop residues of cucumber under continuous cropping system and its mechanism. *J Nanjing Agric Univ* (南京农业大学学报), 14(2): 144~146 (in Chinese)
- 10 Lü W-G(吕卫光). 2002. Mechanism of allelochemicals inhibiting continuous cropping cucumber growth. *Sci Agric Sin* (中国农业科学), 35(1): 106~109(in Chinese)
- 11 Martin VL, McCoy EL, Dick WA. 1990. Allelopathy of crop residues influence corn seed germination and early growth. *Agron J*, 82: 555~560
- 12 Marschner H. 1991. Mechanism of adaptation of plants to acid soils. *Plant Soil*, 134: 1~20
- 13 Pramanik MHR. 2001. Sensitive bioassay to evaluate toxicity of aromatic acids to cucumber seedlings. *J Allel*, 8(2): 161~170
- 14 Rice EL. 1984. Allelopathy (2nd edition). New York: Academic Press. 1~50
- 15 Ruan W-B(阮维斌). 2003. Effect of oil cakes on the growth of cucumber under continuous cropping system and its mechanism. *Sci Agric Sin* (中国农业科学), 36(12): 1519~1524(in Chinese)
- 16 Yu J-Q(喻景权). 2000. Soil-sickness problem in the sustainable development for the protected production of vegetables. *Chin J Shenyang Agric Univ* (沈阳农业大学学报), 31(1): 124~126(in Chinese)
- 17 Yu JQ. 1994. Phytotoxic substance in root exudates of cucumber. *J Chem Ecol*, 20(1): 21~30
- 18 Yu JQ. 1993. P-thiocyanate phenol as a novel allelopathic compound in exudates from root of cucumber. *Chem Exp*, 8(3): 577~580
- 19 Wang P(王 萍). 2002. Study on nutrient composition and utilization of pumpkin fruit. *Chin J Inner Mong Agric Univ* (内蒙古农业大学), 23(3): 52~54(in Chinese)
- 20 Wu F-Z(吴凤芝), et al. 2001. On the reasons of continuous cropping obstacles in vegetable facility gardening. *J Northeast Agric Univ* (东北农业大学学报), 31(1): 241~247(in Chinese)
- 21 Wu F-Z(吴凤芝), et al. 1998. Effect of continuous vegetable cropping in plastic greenhouse on the soil physiochemical properties. *Chin Veg* (中国蔬菜), (4): 5~8(in Chinese)
- 22 Wu F-Z(吴凤芝), et al. 1999. Effect of duration of protected cultivation on yield of cucumber. *J Northeast Agric Univ* (东北农业大学学报), 30(3): 245~248(in Chinese)
- 23 Wu F-Z(吴凤芝), et al. 2002. Effects of phonetic acids on growth and activities of membranes protective enzymes of cucumber seedlings. *Sci Agric Sin* (中国农业科学), 35(7): 821~825 (in Chinese)

作者简介 李 明,女,1979年生,硕士研究生.主要从事化学生态学研究. E-mail: liminghnzp420@sohu.com