

连作花生土壤障碍原因及消除技术研究进展^①

王兴祥¹, 张桃林¹, 戴传超²

(1 中国科学院土壤环境与污染修复重点实验室(南京土壤研究所), 南京 210008; 2 南京师范大学生命科学学院, 南京 210046)

摘要: 本文综述了花生连作障碍的危害、原因及缓解措施, 结合作者近几年来相关试验结果, 重点介绍了低丘红壤区连作花生土壤化感物质检测、利用药用植物间作的生态调控技术、利用植物内生菌等生物与生化调控技术研究进展, 最后提出了花生连作障碍机理及消除技术进一步研究方向, 以期为指导我国花生生产提供技术支撑。

关键词: 花生; 连作障碍; 化感物质; 药用植物间作; 内生菌

中图分类号: S158.5

花生是我国的重要油料作物, 全国播种面积约 4 000 km², 约占油料作物播种面积的 35%, 主要分布在河南、山东、河北、广东、四川、安徽、江西、湖北、广西、吉林等省区, 2005 年、2006 年和 2007 年全国花生总产分别达 1 434 万 t、1 467 万 t、1 303 万 t, 平均产量为 3 302 kg/hm²。华北的花生产量相对较高, 如山东省近 3 年花生产量为 4 120 kg/hm², 南方花生产量相对较低, 如江西省近 3 年花生产量仅为 2 516 kg/hm²^[1-3]。但总体而言, 我国花生产量严重偏低, 品种生产潜力远远没有得到发挥。以江西省为例, 1980 年代江西省鹰潭市刘家站农科所培育的“赣花 5 号”1989 年高产试验就达到了 6 407 kg/hm² 的高产^[4], 1992—1995 年累计示范 250 hm², 平均产量高达 4 644 kg/hm²^[5], 20 多年后的今天, 江西省花生平均产量还不到当年最高产量的 40%, 仅为 20 世纪 90 年代示范田块产量的 54%。影响我国花生持续高产因素主要包括: 品种混杂退化严重、抗连作性能差, 前期低温多雨与后期高温干旱胁迫并存, 肥料配施不合理、化肥施用量大, 连年耕作、花生病害发生严重, 播种密度不合理、群体与个体不协调, 栽培管理技术水平较低、不适应高产花生生产需求等原因^[6-8], 其中长期连作导致的土壤障碍是影响花生产量的重要原因之一^[6,9-10]。下面根据相关文献资料, 并结合笔者最近的研究结果, 就花生连作障碍的危害、原因及缓解措施作简单概述, 并就花生连作障碍机理及消除技术进一步研究方向进

①基金项目: 中国科学院知识创新工程重大项目(KSCX 1-YW-09)和鹰潭市重点科技创
作者简介: 王兴祥(1967—), 男, 安徽无为, 博士, 研究员, 主要从事红壤退化机制与防治
xxwang@issas.ac.cn

1 花生连作障碍的危害

①基金项目: 中国科学院知识创新工程重大项目(KSCX 1-YW-09)和鹰潭市重点科技创
作者简介: 王兴祥(1967—), 男, 安徽无为, 博士, 研究员, 主要从事红壤退化机制与防治

使在正常管理的情况下, 也会产生产量降低、品质变劣、生育状况变差等现象^[11]。我国花生种植面积大, 产区相对集中, 很多地方已经形成传统的优势花生种植产业, 常常多年连片、大规模种植, 有的甚至已连作了 10~20 年。花生连作重茬往往导致病虫害加剧, 其中虫害主要有花生蚜虫和斜纹夜蛾等。花生苗期病害以镰刀菌根腐病为主, 发病率随连作年限成倍增加; 花果期多叶斑病, 病株率近 100%; 青枯病、白绢病则随连作年限延长从无到有, 发病多在结荚成熟期。青枯病一旦感染, 产量损失 60%~70%, 若在开花前与结荚期发病则会导致颗粒无收^[6,12]。连作对花生生长的影响主要表现在花生个体生长发育缓慢、植株矮小、结果数少、百果重低、产量下降等, 且随连作年限的延长上述症状加重^[6,9]。碱性土壤微区试验研究结果表明花生连作 1~2 年, 荚果产量即下降 10.5%^[13]; 酸性红壤小区试验表明, 连作 3 年花生产量比轮作 1 年、轮作 2 年、轮作 3 年花生产量分别下降 8.3%、13.1%和 17.4%^[14]。酸性红壤花生大田调查表明 10 年以上的长期连作会引起根幅缩小 1/3~1/4, 黑根、烂根

5%~20%；中后期株高矮 12~25 cm⁻；有效分枝减少 51.1%，连作 21 年的高节位无效分枝达 53%；连作 10 年和 21 年的单株总果数分别减少 15.4 和 26.0 个；其产量分别比连作 3 年的减少 28.9% 和 51.2%^[6,-12]。

①基金项目：中国科学院知识创新工程重大项目（KSCX 1-YW-09）和鹰潭市重点科技创新项目资助。

作者简介：王兴祥（1967—），男，安徽无为，人，博士，研究员，主要从事红壤退化机制与防治技术、农产品产地土壤环境研究。E-mail: xxwang@issas.ac.cn

目前有关作物连作障碍原因和缓解措施的报道较多，但花生连作障碍直到 1990 年代后才开始进入较为系统的研究。一般来说，持续单作会引起土壤细菌数量和多样性减少、霉菌数量的增加、真菌种类的减少、土壤酶活性降低、土壤养分比例失调、有毒化感物质积累、引起连作障碍。郑亚萍等^[11]和高群等^[15]曾作了较好的总结，下面结合笔者最近在低丘红壤区开展的相关研究结果，分别予以介绍。

2.1 化感物质积累

化感作用是指植物（包括微生物）产生一些特定的生化物质并释放到环境中，对其他植物产生直接或间接的抑制或促进作用^[14]。自然界很多植物根系能够分泌化感物质，如水稻、小麦、大豆、豌豆等，这些植物根系分泌的化感物质能够对周围其他植物产生化感作用，有些情况下对自身也产生毒害，抑制了植物的生长。植物化感物质主要包括酚酸类物质、萜类物质、小分子脂肪酸、黄酮类物质等^[17-22]。最近，我们通过对不同年限连作红壤花生地土壤调查表明，连作花生土壤中对羟基苯甲酸、香草酸和香豆酸随着连作年限的增加而增加，连作 10 年后 3 种酚酸总量达 11.09 mg/kg 干土，显著高于连作 3 年和 6 年的土壤。并通过室内培养实验研究了几种酚酸对花生幼苗生长和病原菌的感染率的影响（表 1），初步确认了其负面的化感作用。酚酸物质在一定的浓度时抑制花生幼苗的生长，可能是通过破坏花生细胞膜的完整性而使病原菌侵入，影响花生生长，产生连作障碍。同时，南方红壤区的红壤酸化严重，花生连作积累的酚酸也导致土壤偏酸，其酸化环境有利于病原真菌的繁殖。而酚酸物质可以改变土壤微生物群落结构，使病原真菌数量增加。因此，酚酸使土壤微生物群落结构改变、病原真菌富集、

微生物群落环境恶化，而恶化的微生物群落结构使土壤中的酚酸物质降解缓慢，造成酚酸物质积累，积累的酚酸不仅继续改变微生物群落结构，而且会抑制花生生长，增加花生发病率，如此恶性循环，产生花生连作障碍^[23]。当然，目前化感物质提取仅为水溶态部分，化感物质组成仅检测了几种酚酸，对于化感物质提取方法与检测技术还有待于进一步完善，其他化感物质种类还有待进一步的确认；对于导致连作花生分泌和积累化感物质的土壤环境因素有待于深入探讨。

表 1 酚酸对花生发病率及发芽率的影响^[23]

Table 1 Effect of phenolic compounds on peanut morbidity and germination rate

处理	发病率（%）	发芽率（%）
对照（无菌水）	22.2 ± 9.62 d	91.7 ± 3.93 ab
1 mg/L 对羟基苯甲酸	27.8 ± 9.62 cd	91.7 ± 3.93 ab
3 mg/L 对羟基苯甲酸	29.2 ± 7.22 cd	89.6 ± 2.95 ab
5 mg/L 对羟基苯甲酸	55.6 ± 9.62 ab	62.5 ± 5.89 f
1.3 mg/L 香草酸	38.9 ± 9.62 bcd	86.1 ± 3.93 abc
3.9 mg/L 香草酸	45.8 ± 19.1 ab	85.4 ± 2.95 bc
6.5 mg/L 香草酸	55.6 ± 9.62 ab	81.3 ± 2.95 cd
1.5 mg/L 香豆酸	27.8 ± 9.62 cd	91.7 ± 3.93 ab
4.5 mg/L 香豆酸	54.2 ± 7.22 ab	81.3 ± 2.95 cd
6.5 mg/L 香豆酸	58.3 ± 9.62 a	72.9 ± 2.95 e

注：表中同一列数值不同字母表示差异显著（p<0.05）。

泌和积累化感物质的土壤环境因素有待于深入探讨。

2.2 微生物区系失衡

花生连作，由于花生的根系分泌物、脱落物、残留于土壤中的花生植株残体，以及多年相似的田间管理方式，形成了特定的土壤环境和根际条件，从而影响了土壤及根际微生物的繁殖和活动。封海胜等^[24]利用不同年限连作的盆栽试验表明，随着连作年限的增加，土壤及根际的真菌数量显著增加，细菌和放线菌的数量明显减少，花生连作 5 年后真菌从 0.5 × 10⁴ cfu/g 干土增加到 1.5 × 10⁴ cfu/g 干土，而细菌和放线菌分别从 8.2 × 10⁶ cfu/g 干土和 7.5 × 10⁵ cfu/g 干土减少到 4.4 × 10⁶ cfu/g 干土和 2.6 × 10⁵ cfu/g 干土。陈先茂等^[14]在酸性红壤不同轮作模式调查表明，较 3 年轮作相比，连作花生 3 年土壤细菌数量减少达 10 倍。笔者 2006 年在江西鹰潭不同连作年限的红壤花生地大田调查也表明（表 2），随着连作年限的增加，土壤中细菌减少、霉菌增加，细菌与真菌的比值显著变小，连作使细菌

型土壤向真菌型土壤转化。不少学者认为，-细菌型土壤是土壤肥力提高的一个生物指标，真菌型土壤是地力衰竭的标志^[24]。土壤真菌的增加，特别是霉菌的增加反过来影响花生的发芽与生长。植物病原菌以真菌为主，真菌的增加，导致利用植物体为营养的腐生菌和病原菌增加，因此往往使花生病害增加。不过，

土壤微生物对土壤肥力影响的关系十分复杂，不能依某种微生物的增减来判断土壤的肥力，需要作综合的考虑。细菌的变化对土壤养分和植物的生长影响或许会更大些，因为土壤中细菌无论在分解有机质、促进

植物生长，还是在植物病害生物防治方面都发挥着比真菌更大的作用。细菌在改善作物营养和提高植物抗病性方面的作用还需作深入的研究^[25]。但总的看来，从土壤微生物环境来说，花生连作导致土壤微生物区系变化是导致地力下降的重要原因之一，但是地力下降的具体指标有待于进一步研究。

表 2 不同连作年限花生成熟期土壤微生物区系

Table 2 Soil microbial community at peanut pod-filling stage under different continuous monocropping years

连作年限 (年)	细菌 ($\times 10^6$ cfu/g)	放线菌 ($\times 10^6$ cfu/g)	霉菌 ($\times 10^4$ cfu/g)	酵母菌 ($\times 10^4$ cfu/g)	细菌百分比 (%)	霉菌百分比 (%)
1~3	6.24	0.18	4.63	18.68	93.79	0.70
4~10	4.29	0.36	5.24	8.04	89.70	1.10

物生长，还是在植物病害生物防治方面都发挥着比真菌更大的作用。细菌在改善作物营养和提高植物抗病性方面的作用还需作深入的研究^[25]。但总的看来，从土壤微生物环境来说，花生连作导致土壤微生物区系变化是导致地力下降的重要原因之一，但是地力下降的具体指标有待于进一步研究。

2.3 土壤酶活性降低

蔗糖酶、脲酶、过氧化氢酶、磷酸酶等土壤酶活性基本呈现随连作时间延长而下降的现象(表 3)^[10,14]。且碱性土壤连作花生地相关分析表明，土壤真菌显著抑制碱性磷酸酶活性，而花针期根际真菌对碱性磷酸酶、蔗糖酶和脲酶活性均具有显著抑制作用；土壤细

菌对碱性磷酸酶、蔗糖酶和脲酶活性均有显著促进作用，花针期和成熟期根际细菌则同时促进碱性磷酸酶活性；土壤放线菌显著促进碱性磷酸酶活性；成熟期根际放线菌显著促进脲酶活性。因此，抑制土壤和花针期根际真菌的大量滋生，增加土壤细菌、花针期和成熟期根际细菌以及土壤放线菌、成熟期根际放线菌数量，可能是提高土壤中碱性磷酸酶、蔗糖酶和脲酶活性，解除花生连作障碍的一个重要对策^[10]。但由于土壤酶活性是植物、土壤动物和微生物产生的酶综合指标，与土壤环境密切相关。土壤酶活性降低与土壤有效养分及土壤微生物区系等变化间的因果关系目前尚不明确。

表 3 不同种植方式下花生土壤酶活性变化

Table 3 Soil enzyme activities under different peanut cropping systems

种植方式		蔗糖酶 (mg/(g·d))	脲酶 (mg/(g·d))	过氧化氢酶 (mg/(g·d))	碱性磷酸酶 (mg/(g·d))
碱性土壤 ^[10]	轮作	29.2	0.479	3.79	1.23
	连作 1 年	30.0	0.487	3.85	1.04
	连作 3 年	25.5	0.432	3.70	0.87
酸性土壤 ^[14]	轮作	4.09	1.67	0.37	—
	连作 3 年	2.10	0.99	0.18	—

2.4 土壤有效养分失衡

有效养分的失衡是花生连作障碍的主要原因之一^[24-25]。据报道，红壤种植花生施肥量一般在 N 100~140 kg/hm²、P₂O₅ 100~140 kg/hm²、K₂O 120~140 kg/hm²，红壤开垦种植花生前 3 年 N、P、K 量均增速明显，以 P 最快。10 年之后，全 N 趋于平衡，速效 K 随收获物外移、淋失稍有下降，唯速效 P 富集盈余。

因近年花生价格上涨，农民施肥仍然按此配比增量 10%~30%，特别是由于长期连作施 N 过多，导致花生自身固 N 功能减弱、根瘤少而小，N 肥利用率和产投比降低，P 效减小，K 素紧缺。另外由于土壤中缺 Ca 和 B，造成大量花生果空壳^[6]。花生为固 N 植物，施用有机肥相对较少，在相近的施肥体系下，长期的连作，由于植物的养分选择吸收，加剧了土壤有效养

分的非均衡化。某些有效养分,特别是微量元素的缺乏,一方面降低了植物的抗病性能,诱导根系分泌物质的增加,而这其中可能包括了抑制花生生长的化感物质;另一方面,有效养分的缺乏也会引起微生物区系的变化,因为有效养分与土壤微生物区系密切相关^[24-25]。连作障碍的原因可能与某些养分的含量降低有关,但不能简单地以养分含量的高低来诊断连作障碍,也不能期望单独施用某种土壤有效养分含量低的元素肥料来缓解连作障碍。长期连作花生即使施用足量的 N、P、K 肥及 B、Mo 等微肥的情况下,其总干物重及荚果产量仍然随着连作年限的增加而递减^[24]。对于花生所需营养元素及其合理配比的进一步研究,可能会在一定程度上有利于解释连作障碍原因。

3 花生连作障碍的主要防治措施

3.1 进行轮作换茬、清除花生残体

轮作换茬是克服花生连作障碍的最经济有效的措施之一。在碱性土壤区,与小麦轮作后,花生生物产量和荚果产量较对照分别增产 23.98% 和 25.10%;与水萝卜轮作后,生物产量和荚果产量分别增产 23.22% 和 21.20%^[26]。在酸性红壤区有灌水条件的田地实行水旱轮作,对花生增产十分有利。花生与西瓜、甘薯、玉米等作物轮作,其根腐病、青枯病、白绢病发病率可减轻 1/2 ~ 1/3^[6]。然而,在面积集中的花生主产区,由于地方传统优势产业发展的需要、农民种植习惯和技术水平的影响,特别是那些只适合少数作物生长的丘陵旱坡地,连作不可避免。例如,江西省鹰潭市红壤坡地种植花生的效益明显优于传统的红薯、葛、玉米、芝麻和大豆,花生已成为该地区旱地春夏的主栽作物。同时,由于花生收后秋旱频发,导致旱地大面积休闲,花生不得不多年连作重茬^[6]。因此,在花生主产区,不同耐性品种花生年际间轮作,南方通过种植秋冬作物(如春花生-秋冬萝卜、春花生-秋粟米)或与其他高效作物实行分片轮作(如部分地区种植花生-萝卜、部分农田种植紫薯-萝卜,第 2 年再对调)来缓解花生连作障碍更为实际。

同时,由于红壤的板结特点,人工收获过程中难以避免留下一些花生残体。我们最近的田间调查表明,前茬花生残体存在往往也是诱发土壤霉菌大量增加的主要原因,直接影响到来年花生发芽。因此,及时清除花生残体也是缓解花生连作障碍的重要措施。

3.2 改变种植时期错过病害发生期

高温期易发生枯萎病、青枯病等土传病害,在栽培上就要错过高温期或在高温期采取预防措施,以减轻病虫害的发生^[15]。低丘红壤区雨量充沛,但季节分配极不均衡,伏秋旱年发生频率较大。伏旱对正处于结荚成熟期的花生而言,起始早晚和程度与花生胁迫呈正相关^[6]。江西省花生播种时间一般在清明前后(4月初),一般在 7 月中旬就开始干旱,花生早衰严重,抗病性能减弱,连作危害加剧。如果 7 月末才出现轻中度干旱,则因地面花生藤叶覆盖,表土干旱滞后,对 8 月上中旬收获的花生威胁不大。如果能够提前到 3 月下旬,配合机械化播种、农膜覆盖 10 天左右,可

以成功避开 7 月中下旬高温干旱,花生收获期将提前到 7 月下旬。不过,在农膜覆盖过程中应配合化学除草剂使用,密切注意杂草控制。

3.3 选用高产耐连作的品种

不同品种在连作障碍的适应性方面存在一定差异。如根系发达、生育期相对较长的普通型大花生适应性较好,而生育期较短的珍珠豆型小花生适应性较差。但品种对连作适应性是一个相对指标,适应性好的品种表明该品种在连作条件下减产幅度小,这并不意味着连作条件下该品种一定产量高。因此,连作条件下高产的品种筛选有待于进一步加强。

3.4 利用间作植物间化感作用

玉米 + 花生、药材 + 花生间作在部分地区取得了一定的增产效果^[27-28]。例如,盆栽和小区试验表明利用京大戟和茅苍术与花生间作,能够有效改善微生物区系,表现为土壤霉菌的减少、细菌数量与多样性的增加;间作后花生超氧化物歧化酶(SOD)活性增加、单株花生产量增加幅度高达 30% 以上^[28-29]。田间试验结果也表明,间作中药材显著提高了花生的抗病能力和花生产量,2008 年间作茅苍术后花生褐斑病和卷叶病分别从单作的 87.4% 和 85.9% 下降到 80.2%、73.4%;与对应密度单作花生相比,间作后单行花生产量分别增加 59.9%~73.6%。由于茅苍术为多年生草本,次年杂草控制有一定困难,在一定程度影响了其间作的后续增产效果。较对应密度单作花生相比,2009 年间作处理单行花生产量增加 9.2%~11.3%,而整个小区而言,由于间作药材后花生实际种植面积减少,花生总产略有减少,但由于茅苍术的可观收益,间作后每年每公顷总收益增加近万元(表 4)。具体措施为 3~4 行花生间作 1 行茅苍术或京大戟,药材在 3

月初移栽，生长期与花生基本同步，秋冬季节药材地上部枯黄，第 2 年秋冬季节收获药材出售，其他与当地常规农田管理相同；药材种植在第 3 年可采取带状轮作，将药材移栽在前几年的花生行，避免药材连作本身可能引起的不利影响。但适应不同地区的间作模式有待进一步筛选和优化，特别是间作一些具有抑制霉菌作用的、低矮的特种农作物或草本药材及其配伍

模式有待于进一步研究；其增产机理研究，尤其是药材地上挥发物质和地下分泌物质的化感作用研究有待深化；模式推广过程中间作农作物或药材行杂草的化学控制有待于解决。

表 4 茅苍术间作对花生产量的影响

Table 4 Effects of intercropping with *Atractylodes lancea* on peanut yield

处理	2008 年花生产量		2009 年花生产量		2 年茅苍术产量	2 年花生收益	2 年茅苍术收益	2 年总收益
	(kg/行)	(kg/hm ²)	(kg/行)	(kg/hm ²)				
CK1	2.33 ± 0.20	3 107 ± 266.7	1.51 ± 0.13	2 013 ± 173.3	0	18 432	0	18 432
CK2	1.74 ± 0.09	2 755 ± 142.5	1.42 ± 0.15	2 248 ± 237.5	0	18 012	0	18 012
A	3.73 ± 0.16	4 035 ± 173.3	1.68 ± 0.14	1 820 ± 151.7	357 ± 8.9	21 080	17 850	38 930
B	3.02 ± 0.26	4 027 ± 346.7	1.58 ± 0.10	2 107 ± 133.3	353 ± 10.5	22 080	17 650	39 730
C	2.98 ± 0.09	3 973 ± 120.0	1.55 ± 0.07	2 067 ± 93.3	348 ± 12.1	21 744	17 400	39 144

注：小区面积 15 m × 8 m；CK1：16 行花生，行距 50 cm，常规施肥；CK2：19 行花生，行距 42 cm，常规施肥；A：3 行花生间 1 行茅苍术，共 3 行茅苍术，13 行花生，行距 50 cm，常规施肥；B：4 行花生间 1 行茅苍术，共 3 行茅苍术，16 行花生，行距 42 cm，常规施肥；C：4 行茅苍术，16 行花生，行距 42 cm，施肥量增加 19%，下表同。花生按 3.6 元/kg 计，茅苍术按 50 元/kg 计。

3.5 3.5—施用微生物制剂，包括拮抗菌、菌根菌和其他促生有益微生物

利用拮抗微生物防治植物根部病害，就是将培养好的拮抗微生物以一定方式施入土壤中，或是通过在土壤中加入有机物等措施提高原有拮抗微生物的活性，从而降低土壤中病原菌的密度，抑制病原菌的活动，减轻病害的发生；接种有益微生物来分解连作土壤中存在的有害物质或与特定的病原菌竞争营养和空间等以减少病原菌的数量和根系的感染，从而减少根际病害发生^[15]。在综合控制中，施用拮抗菌剂、有益微生物制剂或施加菌根菌，有时是非常有效的。据报道接种木霉能够有效控制花生重茬病虫害^[30-31]，但由于生产上应用的木霉制剂多为活孢子制剂，常受到田间温度、湿度、本底土壤微生物等影响，应用效果尚不稳定。封海胜等^[32]利用盆栽研究了生物菌剂对连作障碍的缓解效应，3 年试验结果表明，生物菌剂可以显著促进连作花生的植株生育，使连作花生的植株高度、单株结果数、饱果数、百果重等主要农艺性状以及生物产量和荚果产量达到或超过轮作花生的水平。但其生物菌剂增产效果年际差异较大，再次说明生物菌剂对连作障碍的缓解作用受其他因素（如土壤环境等）影响较大。中国科学院南京土壤研究所在南方红

壤连作花生施用有益微生物制剂（effective micro-organisms）方面也开展了多年的试验研究^[33]，但由于配套措施和施用成本等问题限制了其推广应用。同时，由于红壤强烈的^的吸附作用和季节性干旱、高温等特点，向土壤中添加的外源微生物，如果不能适应农田土壤的环境，则很难与土著微生物竞争，不易定殖，效果将大打折扣。最近，我们研究表明接种内生菌拟茎点霉 B3 对于缓解花生连作障碍具有积极作用^[34]。具体表现为：接种 B3 能够显著减少土壤霉菌数量、增加土壤细菌数量和土壤蔗糖酶活性，增加花生超氧化物歧化酶（SOD 酶）活性和花生产量，提高花生产量 24%。由于田间条件下向土壤中直接添加 B3 菌比较费工，在推广应用过程中可考虑将 B3 菌与有机肥混合施用。笔者于 2009 年在红壤连作 10 多年花生地的花针期和结荚期喷洒 2 次微生物制剂后（主要是芽孢杆菌及其代谢产物，用量为 6 kg/hm²），连作花生增产 12.0% ~ 27.4%（表 5）。因此，生物菌剂有望成为减轻或解除花生连作障碍的一项经济有效的措施，但其适应不同地区和土壤条件的新型微生物制剂的研制和筛选尚需要进一步研究。

表 5 施用微生物制剂对花生产量的影响

Table 5 Effects of microbial agents on peanut yield

处理	花生产量 (kg/行)	
	未施用微生物制剂	施用微生物制剂
CK1	1.51 ± 0.13	1.92 ± 0.04
CK2	1.42 ± 0.15	1.69 ± 0.02
A	1.68 ± 0.14	2.14 ± 0.15
B	1.58 ± 0.10	1.77 ± 0.07
C	1.55 ± 0.07	1.75 ± 0.05

3.6 施用有机肥和连作专用肥

单纯增加 N、P、K 等肥料用量,并不能提高花生产量(表 4、表 5)。合理施肥能够在一定程度上缓解花生连作障碍^[13,35],特别是有机肥和优质花生专用肥的施用能够改善土壤理化性质,补充连作花生土壤中容易缺少的 B、Mo、Zn 等元素。例如:山东省花生研究所研制的连作花生专用肥在部分地区试验结果表明其对缓解花生连作障碍具有一定的作用,其配方基本可以满足连作花生对 N、P、K 及主要微量元素的需要,促进连作花生植株生育,显著提高连作花生的生物产量和荚果产量。但其连作专用肥在连作条件下肥料用量需要比轮作条件下加倍,才能获得较好的增产效果^[36]。因此,适应不同地区需要的花生连作专用肥有待进一步开发。同时,由于长期连作导致的某些有效养分缺乏,已经引起土壤化感物质积累和土壤微生物区系真菌化,因此在花生连作专用肥研制过程中还应考虑消除化感物质与快速调节微生物区系的需求。

3.7 改进土壤耕翻技术

收获花生后进行土壤翻耕并播种秋冬作物能明显减轻来年花生病虫害^[6,35-36]。收获后及时土壤翻耕一方面松土暴晒灭菌,另一方面有利于清除花生植株残茬,改善土壤微环境。如山东省花生研究所研究表明,翻转深度 50 cm 时,花生荚果产量较常规耕深(20 cm)增加 29.6%,花生生育期田间杂草数量减少 336.5%,病情指数降低;翻转深度 30 cm 时,花生荚果产量较常规耕深增产 17.1%,花生生育期田间杂草数量减少 131.2%^[35]。在北方地区可以适当推广深耕,但具体翻转深度应视土壤类型、耕层深度、土壤肥力等条件而定。在南方红壤坡地中由于红壤相对紧实,且缺乏配套的机械,可在收获秋翻后播种萝卜等秋冬作物增加地面覆盖,既有利于保持水土,也在一定程度上缓解花生连作障碍。

3.8 土壤消毒技术

据报道长期连作重茬花生地从苗期开始,定期喷施托布津、多硫悬浮剂、农人液肥等,或者使用 1 125 ~ 1 500 kg/hm²生石灰,30 kg/hm²敌克松进行土壤消毒,

结合其他病虫害防治,可以有效缓解花生连作障碍^[6]。但是,盲目地进行土壤化学消毒可能进一步恶化土壤微生物环境、削弱土壤生物转化功能和养分协调供应能力,具有一定的潜在生态风险。

4 花生连作障碍机理及消除技术的研究方向

4.1 明确花生连作土壤障碍的诊断指标、深化连作障碍机理研究

开展土壤有效养分含量、化感物质积累、土壤微生物区系变化、土壤酶活性变化间关系,及其与花生土传病害、发芽出苗及 SOD 等酶活性等生理指标、花生产量构成因素间相互关系研究,明确不同区域(南方、北方、长江中下游花生主产区)花生连作土壤障碍的诊断指标、影响程度及其产生机制;重点开展化感物质和病原微生物检测及其产生机制、探明连作花生土壤微生物区系变化及其对土壤养分转化与供应能力间相互关系、明确高产花生对不同元素养分需求比例及其土壤有效养分供应的协调比例。

4.2 加强花生连作障碍的消除技术研发与集成

总的看来,选用耐连作的品种、实行不同耐性品种间的轮作、播种秋冬作物、研制和筛选适应不同地区和土壤条件的新型微生物制剂是缓解花生连作障碍易推广应用的有效措施,施用有机肥和花生专业肥、改进土壤耕翻技术也是缓解花生连作障碍的重要技术。在生产实践中,往往是多种技术集成效果最为明显。因此,花生连作障碍的消除技术应当加强生物与生化调控技术研发与集成,重点筛选和施用微生物制剂或自毒化感物质降解的生化制剂,调节土壤微环境、促进自毒化感物质降解、进行土壤微生物定向培育,缓解花生连作障碍;加强合理轮间作的生态调控技术研发与集成,重点筛选高产耐连作的花生品种,研发不同花生品种间轮作、花生与其他农作物或药用植物之间的组合搭配,利用生物之间的互补作用、化感效应,有效地提高农田生物多样性、调控连作花生土壤的微生物群落、改善土壤环境;加强连作障碍土壤复合调理剂与专用肥的研发,针对不同地区土壤酸碱度、养分供应与土传病虫害特点,研发土壤复合调料、养分高效利用促进剂、连作花生专业肥,调节土壤养分供应能力、进行土壤微生物定向培育、培养健康强壮的植株、控制花生后期早衰。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国国家统计局. 中国农业统计年鉴. 北京: 中国农业出版社, 2006

- [2] 中华人民共和国国家统计局. 中华人民共和国国家统计局. 中国农业统计年鉴. 北京: 中国农业出版社, 2007
- [3] 中华人民共和国国家统计局. 中国农业统计年鉴. 北京: 中国农业出版社, 2008
- [4] 官国科. 花生赣花5号高产高效栽培技术. 花生科技, 1995(2): 35-36
- [5] 官国科. 低丘红壤花生高产高效栽培技术措施探讨. 花生科技, 1996(2): 36-37
- [6] 王明珠, 陈学南. 低丘红壤区花生连续高产的障碍及对策. 花生学报, 2005, 34(2): 17-22
- [7] 王才斌, 万书波, 郑亚萍, 成波, 吴正锋, 高新华. 山东花生生产当前主要问题、成因及发展对策. 花生学报, 2006, 35(1): 25-28
- [8] 刘毅, 伍先明, 方先兰, 黎为兵, 李祖莹, 曾维莉. 江西花生低产原因分析及高产栽培技术对策. 江西农业学报, 2009, 21(8): 38-39
- [9] 张思苏, 封海胜, 万书波, 隋清卫, 左学青. 花生不同连作年限对植株生育的影响. 花生科技, 1992(2): 21-23
- [10] 孙秀山, 封海胜, 万书波, 左学青. 连作花生田主要微生物类群与土壤酶活性变化及其交互作用. 作物学报, 2001, 27(5): 617-621
- [11] 郑亚萍, 王才斌, 黄顺之, 吴正锋. 花生连作障碍及其缓解措施研究进展. 中国油料作物学报, 2008, 30(3): 384-388
- [12] 陈志才, 邹晓芬, 宋来强, 邹小云. 江西花生生产发展的障碍因素及其对策. 江西农业学报, 2008, 20(4): 165-166
- [13] 吴正锋, 成波, 王才斌, 郑亚萍, 刘俊华, 陈殿绪, 高新华. 连作对花生幼苗生理特性及荚果产量的影响. 花生学报, 2006, 35(1): 29-33
- [14] 陈先茂, 彭春瑞, 关贤交, 邵彩虹, 邱才飞. 红壤旱地不同轮作模式的效益及对土壤质量的影响. 江西农业学报, 2009, 21(6): 75-77
- [15] 高群, 孟宪志, 于洪飞. 连作障碍原因分析及防治途径研究. 山东农业科学, 2006(3): 60-63
- [16] Rice EL. Allelopathy. 2nd ed. New York: Academic Press Inc., 1984: 309-315
- [17] Dietz H, Steinlein T, Winterhalter P, Ullmann I. Role of allelopathy as a possible factor associated with the rising dominance of *Bunias orientalis* L. (Brassicaceae) in some native plant assemblages. J. Chem. Ecol., 1996, 22(10): 1797-1811
- [18] 韩丽梅, 王树起, 鞠会艳, 阎飞, 李国权, 阎吉昌. 大豆根系分泌物的鉴定及其化感作用的初步研究. 大豆科学, 2000, 19(2): 119-125
- [19] 喻景权, 松井佳久. 豌豆根系分泌物自毒作用的研究. 园艺学报, 1999, 26(3): 175-179
- [20] 崔磊, 赵秀海, 张春雨. 化感作用研究动态及展望. 浙江林业科技, 2006, 26(1): 65-70
- [21] 阮仁超, 韩龙植, 曹桂兰, 安永平, 张媛媛, 张艳蕊, 曲英萍, 祁栋灵, 孙明茂. 化感水稻种植资源的鉴定及基因定位研究进展与展望. 植物遗传资源学报, 2005, 6(1): 108-113
- [22] 吴凤芝, 赵凤艳, 马凤鸣. 酚酸物质及其化感作用. 东北农业大学学报, 2001, 32(4): 313-319
- [23] 李培栋, 王兴祥, 李奕林, 王宏伟, 梁飞燕, 戴传超. 连作花生土壤中酚酸类物质的检测及其对花生的化感作用. 生态学报, 2010, 30(8): 2128-2134
- [24] 封海胜, 万书波, 左学青, 成波. 花生连作土壤及根际主要微生物类群的变化及产量的相关. 花生科技, 1999(增刊): 277-283
- [25] 徐瑞富, 王小龙. 花生连作田土壤微生物群落动态与土壤养分关系研究. 花生学报, 2003, 32(3): 19-24
- [26] 封海胜, 张思苏, 万书波, 隋清卫, 左学青, 李轶女, 卢俊玲. 解除花生连作障碍的对策研究 I. 模拟轮作的增产效果. 花生科技, 1996(1): 22-24
- [27] Inal A, Gunes A, Zhang F, Cakmak I. Peanut/maize intercropping induced changes in rhizosphere and nutrient concentrations in shoots. Plant Physiol. Biochem., 2007, 45: 350-356
- [28] Dai CC, Xie H, Wang XX, Li PD, Zhang TL, Li YL, Tan X. Intercropping peanut with traditional Chinese medicinal plants improves soil microcosm environment and peanut production in subtropical China. Afri. J. Biotech., 2009, 8(16): 3739-3746
- [29] 谢慧, 王兴祥, 戴传超, 陈佳昕, 张桃林. 花生与药材套种对土壤微生物区系的影响. 应用生态学报, 2007, 18(3): 693-696
- [30] Rojo FG, Reynoso MM, Ferez M, Chulze SN, Torres AM. Biological control by *Trichoderma* species of *Fusarium solani* causing peanut brown root rot under field conditions. Crop Prot., 2007, 26(4): 549-555
- [31] 黄亚丽, 张丽萍, 李书生, 张根伟, 程辉彩, 田连生. 绿色木霉菌剂对花生重茬病害的防治效果研究. 现代农药, 2006, 5(6): 35-37, 39
- [32] 封海胜, 张思苏, 万书波, 隋清卫, 左学青, 李轶女. 解除花生连作障碍的对策研究 III. 微生物调节剂的增产效果. 花生科技, 1996(3): 13-16
- [33] 吴胜春, 李振高, 潘映华, 俞慎, 王俊华. 有效微生物菌剂对新垦红壤种植花生的影响 // 中国科学院红壤生态实验站主编. 红壤生态系统研究(第三集). 北京: 中国农业科技出版社, 1995: 319-322
- [34] 戴传超, 谢慧, 王兴祥, 李培栋, 李奕林. 间作药材与接种内生真菌对连作花生土壤微生物区系及产量的影响. 生态学报, 2010, 30(8): 2105-2111

- [35] 车玉萍, 李振高, 潘映华, 王俊华, 俞慎. 施肥对消除花生连作障碍的效果 // 中国科学院红壤生态实验站主编. 红壤生态系统研究(第五集). 北京: 中国农业科技出版社, 1998: 239-244
- [36] 封海胜, 张思苏, 万书波, 隋清卫, 左学青, 李轶女. 解除花生连作障碍的对策研究 II. 连作花生专用肥的增产效果. 花生科技, 1996(2): 14-17
- [37] 封海胜, 张思苏, 万书波, 刘光臻. 土层翻转改良耕地法解除花生连作障碍的效果研究初报. 花生科技, 1991(3): 14-16
- [38] 徐秀娟, 石延茂, 迟玉成, 崔凤高, 葛宝明, 崔贤, 刘春梅. 花生叶斑病无公害防治技术研究. 山东农业科学, 1998(3): 36-38

Advance in Mechanism and Countermeasures of Peanut Succession Monocropping Obstacles

WANG Xing-xiang¹, ZHANG Tao-lin¹, DAI Chuan-chao²

(¹ Key Laboratory of Soil Environment and Pollution Remediation, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China;

² College of Life Science, Nanjing Normal University, Nanjing 210046, China)

Abstract: This paper firstly overviewed positive effects, reasons and mechanisms of peanut succession monocropping obstacles, secondly introduced the corresponding countermeasures for overcoming the problem with the focuses on the determination of allelopathic substance such as phenolic acids, the ecological relief technologies such as intercropping with Chinese medicinal plants, the biological and biochemical relief technologies such as adding endophytic fungus B3 (*Phomopsis* sp.) based on our recent results in the red soil regions, and finally explored the general directions for the future researches in this field.

Key words: Peanut, Succession monocropping obstacles, Allelopathic substance, Intercropping with Chinese medicinal plants, Endophytic fungus