

何天久,吴巧玉,曾宪浩,等. 马铃薯连作障碍形成机制与调控措施研究进展[J]. 江苏农业科学,2016,44(4):1-4.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.04.001

马铃薯连作障碍形成机制与调控措施研究进展

何天久,吴巧玉,曾宪浩,唐健波,雷尊国

(贵州省生物技术研究,贵州贵阳 550006)

摘要:马铃薯是全世界第四大粮食作物,连作障碍一直是困扰马铃薯生产的一个重要因素。总结国内外马铃薯连作的研究成果,马铃薯连作障碍形成机制主要有土壤微生物变化、养分比例失调、盐渍化加重、土壤物理结构改变及植物自毒作用等,通过实施轮作、科学施肥、选用耐连作的品种、土壤消毒等措施,可以有效控制连作障碍对马铃薯生产的影响。到目前为止,国内研究者及技术人员对马铃薯连作障碍的认识主要来自甘肃省等北方产区的报道,其他马铃薯产区尤其是西南地区对马铃薯连作障碍的研究几乎是一片空白。有鉴于此,开展各个产区自然条件下,马铃薯连作障碍形成的主要因素及调控措施研究显得极为必要。

关键词:马铃薯;连作障碍;形成机制;调控措施

中图分类号:S344.4;S532.04

文献标志码:A

文章编号:1002-1302(2016)04-0001-03

连作有狭义和广义 2 种定义。狭义的连作是指在同一块地里连续种植同一科作物或同一种作物。如连续在同一块地种植马铃薯,或者马铃薯与番茄、烟草、辣椒等轮流种植。广义的连作是指同一种作物或易感染同一种病原菌或线虫的作物连续种植。连作障碍是指同一作物或近缘作物(通常指同科或同属的作物,如马铃薯、茄子、辣椒及番茄等)连作以后,即使在正常管理的情况下,也会出现产量降低、品质变差、生长发育不良,而种植其他作物时却不会出现类似现象^[1-4]。马铃薯对连作十分敏感,属于忌连作的作物。连作障碍引起的土壤恶化、病害积累等一直是困扰马铃薯生产的一大障碍。近年来,随着马铃薯产业化程度的提高,连作问题更加突出。笔者根据近年来马铃薯连作障碍方面的最新研究成果,总结了马铃薯连作障碍的危害、形成机制及调控措施,为推动我国马铃薯产业化进程提供理论依据和实践指导。

1 连作对马铃薯的危害

1.1 连作对马铃薯植株生长发育的危害

连作导致马铃薯生长发育受阻和产量下降。连作降低了马铃薯根系活力,连作年限越长,马铃薯植株根系活性下降越严重^[5-6]。张文明等研究表明,连作后马铃薯幼苗生长发育受到显著抑制,连作明显增加了块茎膨大期叶片 MDA 活性,从连作 3 年开始,叶片 MDA 活性急剧增加,而叶片 SOD、POD

和 CAT 的活性急剧下降^[6-7]。随着连作年限的增加,马铃薯植株细胞内的酶结构会遭到破坏,活性随之降低^[6]。

刘星等研究发现连作同时还严重抑制了马铃薯地上和地下部分干物质的积累^[6,8],连作不仅缩短了干物质快速增长长期的时间,而且减少了干物质平均积累速度;也影响马铃薯植株干物质在不同器官间的分配比例^[8]。长期连作条件下导致马铃薯植株库源关系的失衡,以致马铃薯产量降低^[8]。

1.2 连作对马铃薯生长环境土壤微生态的破坏

1.2.1 土壤养分亏缺 连作造成土壤养分亏缺,土壤养分消耗单一,土壤肥力水平下降,不利于养分的平衡供给。马铃薯是喜钾作物,连作年限越长,导致土壤中速效钾下降越快。胡宇等的研究表明随马铃薯连作年限的增加,土壤全氮、全磷、全钾含量总体呈下降趋势;碱解氮、速效磷、速效钾含量也有不同程度的下降;Fe、Mn 含量下降^[9]。陈杰等研究表明,随着连作年限的增加,耕层土壤速效钾含量降低^[10]。

1.2.2 土壤酶活性下降 土壤酶是土壤中最活跃的有机成分之一,在驱动土壤代谢、土壤中养分物质循环及养分的有效释放过程中起着重要作用^[11-12]。连作土壤湿热灭菌后,土壤脲酶、磷酸酶、过氧化氢酶活性均极显著降低^[13]。土壤蔗糖酶和脲酶活性随连作年限的增加呈下降趋势,而土壤中磷酸酶和过氧化氢酶活性在不同茬次间无显著差异^[4]。连作会很大程度上抑制土壤中碳氮的转化,从而影响马铃薯对养分的有效吸收。

1.2.3 土壤微生物结构变化 土壤中微生物的变化在一定程度上反映了土地的生产力和稳定性^[14]。马铃薯连作后,土壤中细菌和放线菌数量降低,真菌数量明显增加^[10,15-16]。土壤细菌中的有益菌能分解土壤有机物、固氮、分泌抗生素、防止有害病原菌侵染或促进有害病原菌死亡等^[16]。放线菌是抗生素的主要产生菌,土壤放线菌分泌的抗生素可抑制某些有害病原物的生长^[17]。土壤中放线菌的生长繁殖对调整土壤微生物生态平衡起着至关重要的作用^[18],而土壤真菌多数是致病菌^[19-20]。随着连作年限增加,导致微生物种群结构失衡,土壤从细菌型向真菌型转化,土壤肥力下降、作物减产^[21]。

收稿日期:2015-04-01

基金项目:贵州省科学技术基金(编号:黔科合 J 字[2013]2188);国家星火计划项目(编号:2011GA820001);黔农科院自主创新科研专项(编号:字[2014]015号);国家现代农业产业技术体系建设专项(编号:CARS-10-ES20)。

作者简介:何天久(1984—),男,四川仁寿人,博士,副研究员,主要从事马铃薯栽培生理及分子育种研究。Tel:(0851)83760332;E-mail:hetianjiu1983@163.com。

通信作者:雷尊国,硕士,研究员,主要从事马铃薯产业体系开发。Tel:(0851)83760332;E-mail:leizunguo916@sina.com。

2 马铃薯连作障碍形成机制

根据前人研究,连作障碍是作物和土壤2个系统内部许多因子共同作用的结果^[22-23]。日本泷岛将作物连作障碍产生原因归纳为5个因素:土壤微生物变化、土壤养分比例失调、土壤盐渍化加重、土壤物理结构改变和植物自毒作用^[24]。

2.1 土壤微生物变化

根际土壤微生物主要包括3大类群:细菌、真菌和放线菌。土壤中的大部分养料经过微生物的分解和转化作用才能被植物吸收、利用,微生物与植物之间通过根系来进行营养物质的交换。因此,土壤微生物(尤其是根际微生物)与植物宿主形成相应的共生关系,且不同的作物根际微生物种群结构是不同的。同一种作物长期连作,作物与微生物相互选择的结果造成了一些寄生能力强的微生物种群在根际土壤中占突出优势,使原有的根际微生态平衡被打破,共生关系被扰乱,从而影响了植物的正常生长和生命活动,导致减产,严重的甚至会危及植物生命。同时,作物残体上病原菌在土壤中积累,一些病原细菌、真菌以及线虫等因拮抗菌数量减少而数量激增,使土传病害发生严重,而土传病害又是引起连作障碍的主要因子之一,特别是近年来,由于化肥使用过量带来土壤中病原菌拮抗菌数量的减少,更加重了土传病害的发生^[25]。此外,连作还会导致土壤中的微生物群落发生改变,土壤微生物区系从高肥的“细菌型”向低肥的“真菌型”转化^[26]。牛秀群等研究表明,随连作时间延长,马铃薯根部土壤中干腐病病原菌镰刀菌(*Fusarium*)的数量呈上升趋势^[27];谭雪莲等试验发现连作马铃薯后,土壤中对马铃薯生长有益的纤维素分解菌、固氮菌的数量较不连作土壤均减少^[19];孟品品等认为连作马铃薯后,土壤中土传病害病原真菌尖孢镰刀菌(*Fusarium oxysporum*)和茄病镰刀菌(*Fusarium solani*)的数量有所增加,而拮抗菌球毛壳菌的数量有所下降^[28]。

2.2 土壤养分比例失调

由于作物对肥料具有一定的选择吸收性,表现为不同作物生长所需营养元素的种类和数量不同。连作一方面会导致某些营养元素的匮乏,如果这些营养元素得不到及时补充则会影响作物的健康生长,从而引发连作障碍;而另一些作物不需要的营养元素则会在土壤中过量积累,发生次生盐渍化等现象,同样会导致连作障碍的发生^[29]。马琳等对连作保护地土壤养分状况变化进行研究后表明:连作保护地土壤的有机质、全氮、全磷、全钾、碱解氮、速效磷、速效钾均处于较高的养分水平,随种植年限的增加土壤pH值下降严重,甚至出现酸化现象^[30]。孙权等研究发现马铃薯连作4年后会使土壤中全氮、全磷、全盐含量较不连作土壤减少^[31]。

2.3 土壤盐渍化加重

连作使蔬菜保护地土壤出现了次生盐渍化现象^[32],土壤发生盐渍化会造成作物根际的土壤溶液渗透势下降,使作物根系吸水、吸肥能力减弱,土壤微生物活动受到限制,影响作物抗逆性和土壤养分的有效性,从而导致植株生长发育不良^[33]。侯云霞等研究表明一般植物在土壤盐分含量达到0.1%时,其正常生长就会受到影响;达到0.2%~0.4%时,根系吸水困难;高于0.4%时,植物体内水分易外渗、生长速率显著下降,甚至导致植物死亡^[34]。

2.4 土壤物理结构改变

郭兰萍等研究表明,作物长期连作会导致土壤的团粒结构被破坏,土壤板结,透气性差,物理性状恶化^[35]。如栽种人参后的床土比重和容重增大,孔隙度变小,物理性黏粒(小于0.01 mm)增多,土壤吸收性能降低,土壤酸化^[36]。吴焕涛等证明连作可以不同程度地增加土壤容重,减小孔隙度,降低土壤pH值,使土壤养分不平衡,恶化土壤理化性状,加重次生盐渍化^[37]。但吴凤芝等研究表明随着连作年限的增加,土壤主要养分含量有增加的趋势,土壤脲酶、中性磷酸酶、酸性磷酸酶活性也有增加的趋势;0.25~2.00 mm水稳性团粒增加,土壤物理结构有所改善但化学性质变坏^[2]。范小峰等研究也表明,随连作年限增加,土壤0.25~2.00 mm级水稳性团粒增加,土壤通透性增加,土壤物理性状反而有所改善,但由于盐分的积累土壤化学性质变坏^[38]。由于土壤团粒结构等土壤物理性状受气候、生物、地形、母质和时间以及耕作、栽培措施等多个因素的影响。因此,植物连作是否会造成土壤团粒结构破坏尚待进一步研究加以证实。

2.5 植物自毒作用

连作下,植物自毒通过化感作用发生。化感作用是指一种植物(包括微生物)通过本身产生并释放到周围环境中的化学物质对另一种植物(或微生物)直接或间接相互排斥和促进的作用。小麦的自毒作用在秸秆还田中表现也十分明显,秸秆还田是为了改善土壤条件,然而这种措施往往会导致小麦发芽和生长受阻,产量下降^[39]。Wang等研究表明,土壤中分解的甘蔗残渣是导致甘蔗发芽率低和生长不良的一个因素^[40]。Martin研究发现,玉米秸秆的水提物抑制玉米种子发芽和幼苗生长,证明了玉米自毒作用的存在^[41]。阮维斌的研究表明,即使利用嗅甲烷进行土壤灭菌,大豆根系生长仍受到抑制,化感物质是导致大豆产生连作障碍的主要原因之一^[42]。王倩研究表明,西瓜连作时出苗率降低,根系分泌物及新鲜的西瓜根、茎、叶组织中都含有酚酸类生长抑制物质,而且根、茎、叶提取物的生物酶活性与酚酸的浓度呈正相关,这一结果证实了西瓜连作障碍中的自毒作用^[43]。

3 缓解马铃薯连作障碍的调控措施

3.1 实施轮作

轮作既利于作物吸收土壤中的不同养分,又可调节微生物群落,使土壤病害受到控制。轮作可使病菌和害虫失去寄主或改变生活环境,因而减轻或消灭病虫害,同时也可以改善土壤结构,充分利用土壤养分^[44]。轮作是解决连作障碍最为简单和有效的方法^[45]。秦舒浩等研究表明豆科植物对马铃薯连作田土壤速效氮、速效磷及速效钾含量有不同程度的促进作用;实施马铃薯豆科植物轮作对防止马铃薯连作田土壤盐渍化有显著效果^[46];轮作豆科植物使连作田土壤脲酶、碱性磷酸酶和过氧化氢酶活性均显著提高,马铃薯增产较明显^[47]。

3.2 科学施肥

增施有机肥、腐殖酸铵、微生物肥也是减轻连作障碍的有效措施。沈宝云等研究表明有机肥、腐殖酸铵、微生物肥可有效地克服甘肃干旱地区马铃薯连作障碍,能显著提高马铃薯产量^[48]。回振龙等研究表明,黄腐酸处理减轻了连作所造成的生理障碍,从而提高了马铃薯幼苗对连作障碍的整体抗性,

促进了连作马铃薯的生长发育,改善了马铃薯块茎营养^[7]。

3.3 选用耐连作的品种

对克服连作障碍而言,选育抗性品种具有重要意义。针对马铃薯连作障碍进行专门的生态育种,种植耐连作的马铃薯品种(如耐病虫害、耐自毒、耐盐害等)。此外,播种前施足基肥,使用微型薯,对种薯进行包衣,中耕培土,以及施用多效唑和膨大素均对消除马铃薯连作障碍有一定的作用^[49]。品种间在连作障碍的适应性方面存在一定差异,生产中更应注意选用连作条件下产量高的品种同时可以选育不产生自毒物质或对这些自毒物质具有抗性的新品种。

3.4 对土壤消毒

土壤进行有效灭菌可减轻或消除黄瓜、辣椒、棉花、葡萄、苹果的连作障碍^[50]。对土壤进行灭菌常用化学和物理方法,土壤灭菌可减少连作土壤对作物的不良影响。在马铃薯出苗后将药剂(如多菌灵)溶于水进行灌根处理,可有效防治土传病虫害的发生。彭绍峰等研究表明在连作的马铃薯播种地喷撒抗重茬药剂能有效克服马铃薯连作危害,喷施 CBT 重茬剂和重茬 1 号马铃薯产量分别增产 32.4%、25%^[51]。对连作马铃薯的土壤进行熏蒸灭菌,能降低马铃薯叶片的 SOD 酶活性、POD 酶活性,缓解不利于马铃薯生长的环境因素,提高土壤微生物群落的功能多样性。

4 展望

连作障碍引起的土壤恶化、病害积累等一直是困扰马铃薯生产的一大障碍。近年来,随着马铃薯产业化程度的提高,连作问题更加突出。但是,到目前为止,相关科研及技术人员对马铃薯连作障碍的认识主要来自北方马铃薯产区(主要是甘肃省)的研究报道,而对贵州省乃至整个西南地区对马铃薯连作障碍的研究几乎是一片空白,而各个马铃薯产区自然条件差异较大,因此,对不同产区的马铃薯连作障碍有待深入研究。马铃薯连作障碍的发生,不仅影响马铃薯产量和品质,同时还降低了产品的安全性,因此,缓解马铃薯连作障碍是实现马铃薯高产、稳产的关键因素。

参考文献:

- [1] 高群,孟宪志,于洪飞. 连作障碍原因分析及防治途径研究[J]. 山东农业科学,2006(3):60-63.
- [2] 吴凤芝,赵凤艳,刘元英. 设施蔬菜连作障碍原因综合分析与防治措施[J]. 东北农业大学学报,2000,31(3):241-247.
- [3] 郑良永,胡剑非,林昌华,等. 作物连作障碍的产生及防治[J]. 热带农业科学,2005,25(2):58-62.
- [4] 白艳茹,马建华,樊明寿. 马铃薯连作对土壤酶活性的影响[J]. 作物杂志,2010(3):34-36.
- [5] 张文明,邱慧珍,刘星,等. 连作对马铃薯根系形态及吸收能力的影响[J]. 干旱地区农业研究,2014,32(1):34-37,46.
- [6] 张文明,邱慧珍,刘星,等. 连作对马铃薯根系生物学特征和叶片抗逆生理的影响[J]. 干旱地区农业研究,2014,32(4):20-23,52.
- [7] 回振龙,李朝周,史文煊,等. 黄腐酸改善连作马铃薯生长发育及抗性生理的研究[J]. 草业学报,2013,22(4):130-136.
- [8] 刘星,张书乐,刘国锋,等. 连作对甘肃中部沿黄灌区马铃薯干物质积累和分配的影响[J]. 作物学报,2014,40(7):1274-1285.
- [9] 胡宇,郭天文,张绪成. 旱地马铃薯连作对土壤养分的影响

- [J]. 安徽农业科学,2009,37(12):5436-5439,5610.
- [10] 陈杰,郭天文,谭雪莲,等. 马铃薯连作地健康株与病株根区土壤微生物生态特性比较[J]. 作物学报,2013,39(11):2055-2064.
- [11] 戴伟,白红英. 土壤过氧化氢酶活性及其动力学特征与土壤性质的关系[J]. 北京林业大学学报,1995(1):37-41.
- [12] 阮维斌,王敬国,张福锁. 连作障碍因素对大豆养分吸收和固氮作用的影响[J]. 生态学报,2003,23(1):22-29.
- [13] 杜茜,马琨. 马铃薯连作对土壤理化性质及酶活性的影响[J]. 黑龙江农业科学,2013(5):20-23,39.
- [14] Brussaard L, de Ruiter P C, Brown G G. Soil biodiversity for agricultural sustainability[J]. Agriculture Ecosystems & Environment, 2007,121(3):233-244.
- [15] 杜茜,卢迪,马琨. 马铃薯连作对土壤微生物群落结构和功能的影响[J]. 生态环境学报,2012,21(7):1252-1256.
- [16] 刘高远,郭天文,谭雪莲,等. 不同栽培方式下马铃薯土壤微生物区系的动态变化[J]. 华中农业大学学报,2014,33(4):19-24.
- [17] 李琼芳. 不同连作年限麦冬根际微生物区系动态研究[J]. 土壤通报,2006,37(3):563-565.
- [18] 张鸿雁,薛泉宏,唐明,等. 不同种植年限人参地土壤放线菌生态研究[J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版,2010,38(8):151-159.
- [19] 谭雪莲,郭晓冬,马明生,等. 连作对马铃薯土壤微生物区系和产量的影响[J]. 核农学报,2012,26(9):1322-1325,1321.
- [20] 韩雪,吴凤芝,潘凯. 根系分泌物与土传病害关系之研究综述[J]. 中国农学通报,2006,22(3):316-318.
- [21] 谢忠奎,陆立银,罗爱花. 不同栽培措施对连作马铃薯土壤微生物的影响[J]. 中国种业,2012(11):49-51.
- [22] 张学军,陈晓群,王黎民,等. 设施蔬菜连作障碍原因与防治措施研究[J]. 科学技术与工程,2003,3(6):590-593.
- [23] 郑军辉,叶素芬,喻景权. 蔬菜作物连作障碍产生原因及生物防治[J]. 中国蔬菜,2004(3):56-58.
- [24] 泷岛. 防治连作障碍的措施[J]. 日本土壤肥科学,1983(2):170-178.
- [25] 陈晓红,邹志荣. 温室蔬菜栽培连作障碍研究现状及防治措施[J]. 陕西农业科学,2002(12):16-17,20.
- [26] 邹莉,袁晓颖,李玲,等. 连作对大豆根部土壤微生物的影响研究[J]. 微生物学杂志,2005,25(2):27-30.
- [27] 牛秀群,李金花,张俊莲,等. 甘肃省干旱灌区连作马铃薯根际土壤中镰刀菌的变化[J]. 草业学报,2011,20(4):236-243.
- [28] 孟品品,刘星,邱慧珍,等. 连作马铃薯根际土壤真菌种群结构及其生物效应[J]. 应用生态学报,2012,23(11):3079-3086.
- [29] 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(1):124-126.
- [30] 马琳,刘文利. 保护地连作对土壤养分状况的影响[J]. 吉林农业科学,2007,32(1):33-34,39.
- [31] 孙权,陈茹,宋乃平,等. 宁南黄土丘陵区马铃薯连作土壤养分、酶活性和微生物区系的演变[J]. 水土保持学报,2010,24(6):208-212.
- [32] 夏立忠,杨林章. 大棚番茄优化施肥与土壤养分和盐分的变化特征[J]. 中国蔬菜,2003(2):6-9.
- [33] 郭军,顾闽峰,祖艳侠,等. 设施栽培蔬菜连作障碍成因分析及防治措施[J]. 江西农业学报,2009,21(11):51-54.

段禄峰,唐文文. 涉农电子商务发展的理论、外部性及政策选择[J]. 江苏农业科学,2016,44(4):4-7.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.04.002

涉农电子商务发展的理论、外部性及政策选择

段禄峰, 唐文文

(西安邮电大学产业经济研究所,陕西西安 710061)

摘要:涉农电子商务在发展过程中存在较强的正外部性,在推动我国农村经济发展过程中发挥着积极的作用。从技术进步、产业关联、农业生态效益、农民人力资本溢出等角度分析涉农电子商务的正外部性成因,论述涉农电子商务正外部性的体现形式,并为矫正涉农电子商务发展过程中的外部性问题提出针对性建议。

关键词:涉农电子商务;外部性;政策选择

中图分类号: F324.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2016)04-0004-04

近年来,涉农电子商务的蓬勃发展引起了专家学者的广泛关注与研究。许禅等研究了农村电子商务的发展对县域就地城镇化格局的影响^[1]。凌守兴基于产业集群的视角,研究了农村电商集群的演进机制^[2]。陈的非以城镇化发展为背景,分析了农业电子商务的潜在风险^[3]。崔丽丽等分析了社会创新对农村电子商务发展的影响^[4]。叶秀敏指出了农村电子商务的发展对农村社会转型的主要意义^[5]。这些研究

夯实了涉农电子商务研究的理论基础。本研究从外部性相关理论出发,分析涉农电子商务产生正外部性的成因及表现形式,提出推动涉农电子商务发展的建议措施。

1 相关概念、理论

1.1 外部性

行为人的行为影响到了他人的利益,却没有为此做出赔偿或得到补偿,就产生了外部性。外部性分为正外部性和负外部性。正外部性别称外部经济,即行为人的活动使他人或社会受益,而受益者无需付出代价。负外部性是指行为人的活动使他人或社会受损,而造成负外部性的行为人没有为此做出相应的补偿^[6]。

1.2 涉农电子商务

涉农电子商务是指建立在现代信息网络基础之上的一切涉农商务活动。主要包括 3 种形态,即农产品、农民、农村电

收稿日期:2015-04-13

基金项目:国家社会科学基金(编号:14BJL124);陕西省软科学项目(编号:2014KRM06);西安市软科学项目(编号:SF1415-1);西安市社会科学基金(编号:14J30);陕西省社科界联合会基金(编号:2014C077)。

作者简介:段禄峰(1974—),男,山东枣庄人,博士,副教授,研究方向为城乡规划与区域经济管理。E-mail:duanlfx2015@126.com。

[34]侯云霞,钱光熹,王建民,等. 上海蔬菜保护地的土壤盐分状况[J]. 上海农业学报,1987,3(4):31-38.

[35]郭兰萍,黄璐琦,蒋有绪,等. 药用植物栽培种植中的土壤环境恶化及防治策略[J]. 中国中药杂志,2006,31(9):714-717.

[36]杨利民,陈长宝,王秀全,等. 长白山区参后地生态恢复与再利用模式及其存在的问题[J]. 吉林农业大学学报,2004,26(5):546-549,553.

[37]吴焕涛,魏珉,杨凤娟,等. 轮作和休茬对日光温室黄瓜连作土壤的改良效果[J]. 山东农业科学,2008(5):59-63.

[38]范小峰,俞诗源,范亚娜,等. 黄土高原大棚黄瓜不同年限连作对土壤主要理化性状的影响[J]. 中国土壤与肥料,2006(6):20-22.

[39]Guenzi W D, McCalla T M. Phytotoxic substances extracted from soil[J]. Soil Science Society of America Proceedings, 1966, 30(2): 214-216.

[40]Wang T S C, Kao M M, Li S W. The exploration and improvement of the yield decline of monoculture sugarcane in Taiwan[J]. Tropical Plants, 1984, 12: 1-9.

[41]Martin. Crop physiology and metabolism[J]. Crop Science, 1991, 31: 380-387.

[42]阮维斌. 大豆连作障碍机理及调控措施的研究[D]. 北京:中国农业大学,2000:20-35.

[43]王倩. 西瓜连作障碍中的自毒作用及酚酸类物质作用机理的研究[D]. 北京:中国农业大学,2002:25-30.

[44]张晓玲,潘振刚,周晓锋,等. 自毒作用与连作障碍[J]. 土壤通报,2007,38(4):781-784.

[45]张子龙,王文全. 植物连作障碍的形成机制及其调控技术研究进展[J]. 生物学杂志,2010,27(5):69-72.

[46]曹莉,秦舒浩,张俊莲,等. 轮作豆科牧草对连作马铃薯田土壤微生物菌群及酶活性的影响[J]. 草业学报,2013,22(3):139-145.

[47]秦舒浩,曹莉,张俊莲,等. 轮作豆科植物对马铃薯连作田土壤速效养分及理化性质的影响[J]. 作物学报,2014,40(8):1452-1458.

[48]沈宝云,余斌,王文,等. 腐植酸铵、有机肥、微生物肥配施在克服甘肃干旱地区马铃薯连作障碍上的应用研究[J]. 腐植酸,2012(2):42-42.

[49]裴国平,王蒂,张俊莲. 马铃薯连作障碍产生的原因与防治措施[J]. 广东农业科学,2010,37(6):30-32.

[50]杨桂丽,童娟,张丽,等. 熏蒸灭菌对连作马铃薯生长发育及土壤微生物的影响[J]. 农业科学研究,2012,33(1):36-40,56.

[51]彭绍峰,赵爱菊,张春强,等. 应用抗重茬药剂克服马铃薯连作障碍试验初报[J]. 农业科技通讯,2010(1):44-45.