综 述

DOI:10.14188/j.ajsh.2018.02.008

# 大蒜连作障碍形成机理的研究进展

尹彦舒,崔 曼,崔伟国,高 淼*

(中国农业科学院农业资源与农业区划研究所 农业部农业微生物资源收集与保藏重点实验室,北京 100081)

**摘要**:大蒜是我国重要的经济作物,大蒜连作障碍是制约其产量和品质的关键因素。本文从连作障碍对大蒜生长的影响入手,通过阐述大蒜土壤微生物群落失衡、土壤养分不均衡、自毒作用及各因素相互关系等,解析大蒜连作障碍形成的机理机制。同时,对目前大蒜生产中常用的,防治连作障碍的手段进行分析,最后对大蒜连作障碍研究方向做出展望。

**关键词**:大蒜连作障碍;大蒜土壤微生物群落失衡;土壤养分不均衡;自毒作用;防治措施

**中图分类号**:S-1 **文献标识码**:A **文章编号**:2096-3491(2018)02-0141-07

# Research progress on formation mechanism of garlic continuous cropping obstacle

YIN Yanshu, CUI Man, CUI Weiguo, GAO Miao*

(Key Laboratory of Microbial Resources Collection and Preservation, Ministry of Agriculture, Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China)

**Abstract**: Garlic is an important economic crop in China. Continuous cropping obstacle is a key factor to restrict garlic yield and quality. We review the effect of continuous cropping obstacle on garlic growth in this paper. The mechanisms of garlic continuous cropping obstacle are analyzed by expounding garlic soil microbial community imbalance, soil nutrient imbalance, autotoxicity and the relationship among various factors. The common measures and prospects for the prevention and control of continuous cropping obstacle of garlic are introduced.

**Key words**: garlic continuous cropping obstacle; garlic soil microbial community imbalance; soil nutrient imbalance; autotoxicity; prevention measure

## 0 引 言

大蒜(*Allium sativum* L)为一年生或二年生草本植物,属于百合科(Liliaceae)葱属(*Allium*),作为我国重要的经济作物,含有丰富的营养价值。根据2014年数据报道,全世界大蒜的种植面积已经达到154.74万公顷、产量2 494.00万吨。我国大蒜种植面积79.14万公顷、产量2 005.84万吨(FAO,2017),无论是产量还是种植面积均居世界第一位。大蒜在我国种植区域范围广,且在南北方皆有适宜栽培大蒜的气候地区,北方种植大蒜产区主要集中在山东省,其中金乡县是公认的"中国大蒜之乡",南方则以江苏省为主要产区。除此之外,河南、河北、新疆、上海、广西等地也都有大蒜产区[1]。

目前中国在大蒜种植栽培上还存在连作障碍问题,连续种植大蒜超过20年的地区,发生连作障碍严重,主要表现为大蒜弱苗、小苗、死苗频繁发生,大蒜生长期出现叶片枯黄,蒜腐病,根腐病几率增加,导致大蒜长势严重下降,还会造成土壤传播病害加重,土壤理化性质遭到破坏等问题。这些都会对大

收稿日期:2017-11-04 修回日期:2018-01-11

作者简介:尹彦舒(1996-),女,硕士生,现主要从事农业微生物研究。E-mail:13002739082@163.com

*通讯联系人 E-mail:gaomiao@caas.cn

资助项目:中央级公益性科研院所专项资金资助项目"微生物肥料对山东大蒜土传病害的防控"(IARRP-2015-17)

引用格式:Yin Y S, Cui M, Cui W G, *et al*. Research progress on formation mechanism of garlic continuous cropping obstacle[J]. Biotic Resources, 2018, 40(2): 141-147.
尹彦舒,崔曼,崔伟国,等. 大蒜连作障碍形成机理的研究进展[J]. 生物资源, 2018, 40(2): 141-147.

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

蒜的生产造成严重影响[2]。

土壤微生态环境不平衡、土壤养分失衡导致无法满足大蒜生长需求,土壤的酸化和次生盐渍化的转变,以及植物的自毒作用和各因素相互作用等都是大蒜连作障碍形成的重要因素。

## 1　大蒜连作危害

大蒜种植模式向集约化方向发展是我国大蒜种植业发展的必然趋势,但由于我国目前的大蒜种植模式仍然以小农种植为主,农户种植还受到种植面积的制约。因此,连作种植模式依然是我国大蒜最常采用的种植制度。这样的种植模式虽然能够有效节约农业用地,但是连年种植有很大的弊端,连作障碍发生后会严重影响大蒜的品质和产量,使其经济价值和营养价值大幅下降,而且易导致大蒜发生病虫害。

研究发现韭菜连作三年后其体内的干物质含量下降明显[2]。大蒜与韭菜为同属作物,且大蒜忌连作种植,大蒜连作会出现生长势下降,苗期死亡,生长期叶片枯黄,病虫害发生严重等问题。大蒜在进行连作栽培后还有可能造成二次生长,种行退化等问题[3]。研究发现长期连作(15～20 年)对大蒜生长有抑制作用[4]。大蒜连作 15～20 年后,连作障碍明显,土壤系统中的各项因子紊乱,造成土壤微生物种群结构的失调,土壤酶活性下降甚至失活[5]。而连作障碍的形成极易导致大蒜生长中常见病虫害的发生,如根腐病、白腐病和叶枯病等[6]。众多研究表明农作物进行连作栽培,会使土壤微生物种群系统遭到破坏,有益微生物数量减少以及部分酶的活性降低[7～10],严重时直接影响生产,降低经济价值,造成农户经济亏损。

## 2　大蒜连作障碍的成因

### 2.1　土壤微生态结构失衡

土壤微生态环境的平衡打破是大蒜连作障碍发生的原因之一。土壤微生物是植物土壤化学和生物状态改变的综合指示器[11,12],根据环境的变化,病原菌和有益微生物会竞争在植物根际的定殖[12～14]。虽然 5～10 年的短期连作,会使土壤中有益微生物类群的种类和数量得到改善,出现增长趋势;同时部分土壤酶的活性也有不同程度的提高,土壤微生态环境向良性方向的发展也较明显;但是进行 15～20 年的长期轮作,除真菌数量会增加外,各项指标均有明显的下降趋势,导致土壤微生态环境状况呈现劣变趋势,连作障碍明显[4,15]。利用平板法、Biolog-ECO 法等对根腐型病害大蒜和健康大蒜根际土壤微生物多样性进行分析,发现健康大蒜根际微生物多样性指数高于患病大蒜根际土壤微生物,种群分布由细菌型向真菌型转变[16]。国内外已报道分离自根际的大蒜病原菌主要有镰刀菌属(*Fusarium*)、小核菌属(*Sclerotium*)和棘壳孢属(*Pyrenochaeta*)。层生镰刀菌(*Fusariumproliferatum*)、串珠镰刀菌(*Fusariummoniliforme*)引起大蒜腐烂在北美[17]、加拿大[18]、意大利[19]、西班牙[20]、塞尔维亚[21]等国均有发现。国内已报道分离自根际的大蒜病原菌有腐霉属(*Phthium*)、棘壳孢属(*Pyrenochaeta*)和小核菌属(*Sclerotium*)[6,22]。以小菌核属为例,可以引起大蒜白腐病,这类案例在伊朗、墨西哥、巴西、加拿大均有发现,可造成减产达 10%～100%[23,24]。综上,大蒜微生态结构失衡,造成有益种群的种类及数量下降,有害病原菌的数量增加,连作病虫害逐年增加,是导致大蒜连作障碍的重要原因。

### 2.2　大蒜土壤养分失调

传统的肥料种类和施肥技术,只能对作物所需的大量元素进行补充,如:氮、磷、钾等。而作物对中微量元素的摄取,只能依靠土壤养分供给。作物对土壤中微量元素的吸收具有特定的趋势,在这种情况下,如果在同一地块连年种植同一作物,必然导致土壤中的中微量元素满足不了作物的需求[2]。对于大蒜种植也是如此,大蒜长期连作必然会造成土壤养分失调,以及土壤中某些营养元素的亏缺,另一些营养元素的增加,这会直接影响大蒜的品质和产量。

土壤酸化也会影响作物从土壤中摄取养分,过量施用氮肥会造成土壤缓冲能力的破坏,致使土壤 pH 值下降引起土壤酸化[25]。大蒜连作 20 年的产区,其土壤 pH 值要小于非连作区域土壤的 pH 值,这也充分证明了大蒜连作确实会使土壤酸化。此外,施肥制度的不合理也会造成土壤理化性质发生改变,比如:大量使用无机化肥会使土壤含盐量增加,加剧土壤次生盐渍化的发生,也可导致大蒜根系的渗透性发生改变,使其根系吸水吸肥和摄取养分的能力下降。土壤中由于土壤溶液浓度过高而导致部分营养元素之间产生拮抗作用,导致大蒜对其中部分元素的摄取造成障碍,甚至还会影响土壤中有益微生物活性和繁殖等[26]。除此之外,大蒜在生长过程中排泄的根系分泌物和根际微生物也是打破土壤酸碱平衡的原因,长期单一模式连年种植大蒜,根系分泌物会成特定趋势堆积,对大蒜的生长发育产生威胁。

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

### 2.3 自毒作用

有些植物具有化感作用，化感作用是指植物通过向环境释放特定的次生物质从而对临近其他植物（含微生物及其自身）生长发育产生积极或消极的作用。而自毒作用是化感作用的一种特殊类型[27]，它是植物在地上部的挥发物、淋溶物或根系分泌物及植物残体等释放的一些物质对下茬作物（同属或同科）生长发育产生的抑制作用[28]。大蒜在生长过程中会分泌一些根系分泌物，也会排泄一些化感物质进入到土壤中，而且某些大蒜病残体在腐烂降解后也会产生一些有毒物质[2]，这些物质会在土壤中积聚，会不同程度地对下茬大蒜的生长发育造成不利影响。根际作为根与土壤接触的微域环境，它是作物摄取营养的关键部位，是土壤、根系、微生物三者相互作用的主要场所[29]。虽然根系分泌物是根系微生物的主要能源和碳源[30,31]，但不同植物所产生根系分泌物种类和数量是不同的，同一植物的不同生长发育阶段所分泌的根系分泌物的种类和含量也有差异，而这种差异会直接影响土壤中根际微生物的种类及分布情况[32]。此外，土壤中的某些酶部分来源于微生物的分泌物，同时作物的根系也能分泌一些不同的酶物质，这些酶对土壤中的有机质分解和转化具有重要作用[33]。根系分泌物引起土壤微生物区系和部分土壤酶的变化[34,35]，大蒜根系分泌物对同属作物的生长发育会产生抑制作用，大蒜根系分泌物的数量与其抑制作物生长发育程度成正比[15]。由此可知，由于大蒜根系分泌物的积累所引发的自毒作用也是大蒜连作障碍的重要成因。

大蒜连作后根系分泌物的种类和数量与之前都有很大差异这也致使根际环境微生物发生变化，间接影响土壤的理化性质发生改变以及后茬大蒜的生长发育[36]。对大蒜连作前后根际土壤中的有机化合物通过气相色谱-质谱（GC-MS）实验分析显示，在大蒜生长期排泄的根系分泌物中肉蔻酸和阿魏酸组分已被认定具有化感作用，这些都能够作为大蒜连作障碍形成机理关键因素的理论基础[37]。

### 2.4 各因素相互关系

连作障碍的形成甚至加剧的原因，是土壤系统与植物本身综合作用的结果，因此，连作障碍不是单一因素引起的[38]。根际土壤微生物种群与土壤酶活性是调节土壤微生态环境平衡、评价土壤微环境优劣的重要指标[39,40]。目前国内对于大蒜连作后对土壤系统中的各项因子以及土壤酶活性产生的影响效果做了大量研究[41～46]。相关数据表明随着连作年限的增加，土壤中有益微生物的种类和数量以及土壤酶活性均呈现先上升后下降的变化趋势。大蒜长期连作 15～20 年后，除土壤内真菌数量增加外，其他各项对大蒜生长发育有益的指标如土壤微生物种类，土壤酶活性以及土壤氨化细菌等均呈现不同程度的下降趋势，从而产生严重的连作障碍，致使大蒜产量逐年减少[5]。

土壤全氮和速效钾含量与大蒜近根区土壤微生物的种类结构及数量变化有关，也会对蔗糖酶活性、磷酸酶活性与土壤电导率（EC）等产生显著影响[47]。土壤养分含量平衡与土壤微生物酶活性密切相关，研究表明土壤养分的转化和循环依赖于土壤微生物的活动以及土壤酶活性的增加[48～50]。随着连作年限的延长，土壤中有效锌、全钾、全氮、全磷、碱解氮含量整体呈下降趋势，土壤微生物数量和土壤酶活性均与土壤 pH 值、有机质和缓效钾含量整体上负相关[51]，这些都为大蒜连作障碍的形成提供了理论依据。

## 3 大蒜连作障碍的防治措施

### 3.1 改善施肥制度，提高田间管理水平

目前，大蒜施肥制度存在着严重的问题，一方面是过量使用氮磷钾肥，其次，耕层过浅，缺少深耕深翻，土壤的保水保肥能力差[52]。因此，针对这一问题，关键是做到重视大蒜种植过程中对中微量元素的补充以及生物有机肥的施用，同时重点关注大蒜栽培技术问题，如深翻整地，耕层加深，以保证土壤能够维持良好的缓冲能力以及保水保肥能力。施肥量以及施肥制度的不合理很容易造成土壤的理化性质发生改变引起土壤酸化和次生盐渍化。因此需要制定合理的施肥制度增加有机肥料的使用比例，大量元素与中微量元素协调配比是大蒜生产过程中保持高产稳产的重要因素。

### 3.2 合理规划种植制度

10 年是大蒜连作种植的适宜年限，可有效维护土壤微生态环境结构的平衡，保持土壤健康状态，应尽量避免 10 年以上的连作种植，在大蒜长期连作的主产区，通过一些耕作措施的调整以调控大蒜根际微生态环境向良性方向发展[5]。根据大蒜根系分泌物对莴苣、萝卜、黄瓜、白菜和番茄的生长发育能够起到促进作用[53]，以及能够抑制黄瓜枯萎病病菌菌丝的生长[32]等双重化感作用特点，对大蒜种植制度进行合理安排间作、套作或轮作，以保证作物的产量和品质[54]。轮作可有效改善土壤通气性，维持土壤养分平衡，并且会使土壤中有益微生物种群数量增加[55]。大蒜与非同属作物轮作是控制大蒜白腐病

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

发生几率的重要措施[56]。因此,与非同属作物轮作是避免大蒜连作障碍的重要手段,也是调控土壤系统良性循环的关键。

### 3.3　优化育种目标,改良育种技术

解决大蒜连作障碍问题不仅要研究目前大蒜品种的特性,更要针对大蒜连作障碍发生机理,改善育种目标。将防治方向转向育种技术的改变,比如有些因素是间接造成大蒜连作障碍,而直接影响的是大蒜病虫害的发生,因此选育抗病抗虫品种仍然十分必要。化感物质的积累也是连作障碍的形成原因,培育可以抵抗化感物质的大蒜或者将不产生化感物质作为大蒜的育种标准,可解决连作造成的自毒作用[57]。另外化感作用是双重化的,将仅保留化感的促进作用作为培育大蒜新品种的目标也是克服连作障碍的途径[58]。

### 3.4　关注土壤微环境组分,研制微生物菌剂

土壤养分的正常循环和转化是土壤微生态环境保持良好状态的基础,而土壤养分循环和转化有赖于土壤微生物提供基础来源和土壤酶的催化[48~50]。随着连作年限的增加,土壤有机质、pH 值、有益微生物种类及数量皆向劣态方向发展。但连作年限不同,各项指标的变化趋势也存在差异,比如:连作 20 年大蒜时,其根际微生物数量与土壤活性处于最低水平,而连作 30 年这两项指标又略有上升,但微生物结构变化不明显[59]。因此,在这种情况下,长期密切监测和关注各项指标的变化趋势,做到"对症下药"也可缓解连作障碍带来的危害,提高大蒜的产量。此外,合理提高生物肥料的施用量,可以有效调控土壤 pH 值,提高土壤养分含量。

新型复合物微生物菌剂(EM)中的有益类群,不仅可以对土壤理化性质起到改良作用,还可对土壤中的部分大量元素和微量元素进行分解,最重要的是 EM 对土壤中的有害生物也具有抑制作用,并且能够合成多种有益物质对作物的生长起到积极影响[60]。EM 菌剂对大蒜生长发育具有促进作用,可以调控大蒜的生理代谢活动和生理生化活跃水平,因此对大蒜连作障碍的缓解起到较好的效果。

## 4　展　望

解决大蒜连作障碍问题是提升大蒜产量和品质的关键。目前研究还不能明确大蒜连作后土壤的养分组成情况对大蒜连作产生的影响效果。另一方面关于不同防治措施对大蒜连作障碍的缓解程度等方面的研究还很模糊,某些防治手段是否会对大蒜种植土壤微生态环境产生影响还尚不明确。因此,仅靠目前的研究成果还无法从根本上解决大蒜连作障碍问题。现应以改善育种目标和改良育种技术为基础,培育优质抗病大蒜新品种,提高大蒜生产标准,以明确大蒜连作障碍的发生机理为前提,针对该属作物生理生化特点,研制高效、特异性生物药剂及微生物菌肥菌剂。合理优化大蒜的种植制度,从解决根本问题和保证环境的可持续发展出发,研究相关的调控措施,结合合理地人为综合防治手段及农业生产新技术来探索如何克服大蒜连作障碍问题。

## 参考文献

[1] Liu S H. Studies on mechanism of garlic (*Allium sativum* L.) replanting problem and ameliorative effect of EM [D]. Tai'an: Shandong Agricultural University, 2011.
刘素慧. 大蒜连作障碍形成机理及 EM 缓解效应的研究[D]. 泰安:山东农业大学, 2011.

[2] Zurawik A, Jadczak D, Zurawik P. Content of macro- and microelements in the yield of garlic chives (*Allium tuberosum* Rottler ex Spreng.) according to the plant age[J]. J Elementol, 2013, 18(3): 521-528.

[3] Guo C L, Li H, Xu W Y. Facing the garlic production problems and solutions in Jingxiang [J]. Chinese Horticulture Abstracts, 2011(1): 156-157.
郭翠兰, 李慧, 许文燕. 金乡大蒜生产面临的问题及解决途径[J]. 中国园艺文摘, 2011(1): 156-157.

[4] Wei H. Studies on main perfomance and biological regulation of replant disease in garlic(*Allium sativum* L) [D]. Tai'an: Shandong Agricultural University, 2011.
尉辉. 大蒜连作障碍的主要表现及 EM 菌剂调节的研究[D]. 泰安:山东农业大学, 2011.

[5] Liu S H, Liu S Q, Zhang Z K, *et al*. Influence of garlic continuous cropping on rhizosphere soil microorganisms and enzym activities[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2010, 43(5): 1 000-1 006.
刘素慧, 刘世琦, 张自坤, 等. 大蒜连作对其根际土壤微生物和酶活性的影响[J]. 中国农业科学, 2010, 43(5): 1 000-1 006 .

[6] Zhang B. Preliminary study on the pythium root rot of garlic in Shangdong [D]. Urumchi: Xinjiang Agricultural University, 2008.
张博. 山东省大蒜腐霉根腐病初步研究[D]. 乌鲁木齐:新疆农业大学, 2008.

[7] Li Q F. Dynamics of themicrobial flora in the liriope rhizosphere and outrhizosphere during continuous cropping years [J]. Chinese Journal of Soil Science, 2006, 37(3): 563-565.
李琼芳. 不同连作年限麦冬根际微生物区系动态研究

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

[J]. **土壤通报**, 2006, 37(3): 563-565.

[8] Sun X S, Feng H S, Wan S B, *et al*. Changes of main microbial strains and enzyme activities in peanut continuous cropping soil and their interactions [J]. Acta Agronomica Sinica, 2001, 27(5): 617-621.

**孙秀山, 封海胜, 万书波, 等. 连作花生主要微生物类群与土壤酶活性变化及其交互作用[J]. 作物学报**, 2001, 27(5): 617-621.

[9] Chen H, Hao H R, Xiong J, *et al*. Effects of successive cropping *Rehmannia glutinosa* on rhizosphere soil microbial flora and enzyme activities [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2007, 18 (12): 2 755-2 759.

**陈慧, 郝慧荣, 熊君, 等. 地黄连作对根际微生物区系及土壤酶活性的影响[J]. 应用生态学报**, 2007, 18 (12): 2 755-2 759.

[10] Hu Y S, Liu Y F, Wu K, *et al*. Variation in microbial community structure in relation to successive cucumber cropping soil [J]. Chinese Journal of Soil Sciences, 2006, 37(1): 126-129.

**胡元森, 刘亚峰, 吴坤, 等. 黄瓜连作土壤微生物区系变化研究[J]. 土壤通报**, 2006, 37(1): 126-129.

[11] Berendsen R L, Pieterse C M, Bakker P A. The rhizosphere microbiome and plant health [J]. Trends in Plant Sci, 2012, 17(8): 478-486.

[12] Mendes R, Garbeva P, Raaijmakers J M. The rhizosphere microbiome: significance of plant beneficial, plant pathogenic, and human pathogenic microorganisms [J]. FEMS MR. 2013, 37(5): 634-663.

[13] Qiu M, Li S, Zhou X, *et al*. De-coupling of rootmicrobiome associations followed by antagonist inoculation improves rhizosphere soil suppressiveness [J]. Bio Fer of S, 2014, 50(2): 217-224.

[14] Li X, Ding C, Hua K, *et al*. Soil sickness of peanuts is attributable to modifications in soil microbes induced by peanut root exudates rather than to directallelopathy [J]. Soil Bio and Biochem, 2014, 78: 149-159.

[15] Liu S H, Liu S Q, Zhang Z K, *et al*. Inhibition effect of garlic root exudates on the genus *Allium* [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2011, 44(12): 2 625-2 632.

**刘素慧, 刘世琦, 张自坤, 等. 大蒜根系分泌物对同属作物的抑制作用[J]. 中国农业科学**, 2011, 44 (12): 2 625-2 632.

[16] Zhang L J, Mao J, Zhang Z D, *et al*. Study of microbial community diversity in rhizosphere soil from garlic infected by root rot disease[J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2013, 50(11): 2 109-2 117.

**张丽娟, 茆军, 张志东, 等. 新疆大蒜根腐病害根际土壤微生物群落多样性初探[J]. 新疆农业科学**, 2013, 50(11): 2 109-2 117.

[17] Dugan F M, Hellier B C, Lupien S L. First report of *Fusarium proliferatum* causing rot of garlic bulbs in North America [J]. Plant Pathology, 2003, 52(3): 426.

[18] Leslie J F. *Gibberella fujikuroi*: available populations and variable traits [J]. Canadian Journal of Botany, 1995, 73 (Suppl 1): 282-291.

[19] Tonti S, Pra M D, Nipoti P, *et al*. First report of *Fusarium proliferatum* causing rot of stored garlic bulbs (*Allium sativum* L.) in Italy [J]. Journal of Phyto, 2012, 160(11-12): 761-763.

[20] Palmero D, De Cara M, Nosir W, *et al*. First report of *Fusarium proliferatum* causing rot of garlic bulbs in Spain [J]. Pla D, 2008, 94(2): 277.

[21] Stankovic S, Levic J, Petrovic T, *et al*. Pathogenicity and mycotoxin production by *Fusarium proliferatum* isolated from onion and garlic in Serbia[J]. E J of Pla Path, 2007, 118: 165-172.

[22] Li X S, Chen D, Liang Y, *et al*. Isolation and identification of pathogen of garlic dry rot [J]. Chinese Vegetable, 2012, 20: 88-93.

**李旭双, 陈典, 梁誉, 等. 大蒜干腐病病原菌的分离鉴定[J]. 中国蔬菜**, 2012, 20: 88-93.

[23] Zewde T, Fininsa C, Sakhuja P K, *et al*. Association of white rot (*Sclerotium cepivorum*) of garlic with environmental factors and cultural practices in the North Shewahigh lands of Ethiopia [J]. Crop Protection, 2007, 26: 1 566-1 573.

[24] Amini J, Babaei N, Soleimani M J. Survey of *Bacillus* spp. isolates for biological control of white rot of garlic caused by *Sclerotium cepivorum* under *in vitro* and greenhouse conditions [J]. I J of Pla Protec Sci, 2013, 44: 253-262.

[25] Jia R, Zhang D, Ma X D, *et al*. Research progress on continuous cropping obstacle of garlic [J]. Northern Horticulture, 2014(19): 207-210.

**贾茹, 张迪, 马晓东, 等. 大蒜连作障碍研究进展[J]. 北方园艺**, 2014(19): 207-210.

[26] Zhang W J, He Q H, Kong X Y, *et al*. Comprehensive prevention and control of continuous cropping obstacle of garlic [N]. Jiangsu Agricultural Science and Technology Newspaper, 2017-8-30(3).

**张为皎, 贺庆华, 孔祥银, 等. 综合防控大蒜连作障碍[N]. 江苏农业科技报**, 2017-8-30(3).

[27] Rice E L. Allelopathy [M]. 2nd ed. New York: Academy Press Inc, 1984: 151-187, 309-315.

[28] Singh H P, Batish D R, Kohil R K. Autotoxicity: concept, organisms, and ecological significance [J]. Criti-

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

cal Reviews in Plant Sciences, 1999, 18: 757-772.

[29] Zhang S X, Gao Z Q, Liu H L. Continuous cropping obstacle and rhizospheric microecology. Ⅲ. Soil phenolic acids and their biological effect[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2000, 11(5): 741-744.
**张淑香, 高子勤, 刘海玲. 连作障碍与根际微生态研究Ⅲ. 土壤酚酸物质及其生物学效应[J]. 应用生态学报**, 2000, 11(5): 741-744.

[30] Brooks P C, Landman A, Pruden G, *et al*. Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen: a rapid direct extraction method to measure microbial biomass nitrogen in soil[J]. Soil Bidogy&Bioehem, 1985, 17: 837-842.

[31] Powlson D S, Brookesp C, Christensn B T. Measurement of soll microbial biomass provides an early indication of changes in total soil orsanic matter due to straw in corporation [J]. Soil Biology&Bioehem, 1987, 19: 159-164.

[32] Zhou Y L, Wang Y, Li J Y, *et al*. Dynamic study of microbial population and enzyme activity in rhizosphere soil of *Allium sativum* L.[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2011, 39(5): 2 740-2 741, 2 744.
**周艳丽, 王艳, 李金英, 等. 大蒜根际土壤微生物数量及酶活性动态研究[J]. 安徽农业科学**, 2011, 39(5): 2 740-2 741, 2 744.

[33] Wang S, Li T X, Zhang X Z, *et al*. Study on changes of microbial characters in greenhouse soil [J]. Journal of Soil land Water Consevation, 2006, 20(5): 82-86.
**王珊, 李廷轩, 张锡洲, 等. 设施土壤微生物学特性变化研究[J]. 水土保持学报**, 2006, 20(5): 82-86.

[34] Qi Z M, Yang W Q. Microbial quantity and enzyme activity in *Fargesia denudata* rhizosphere soil of western Sichuan [J]. Chinese Journal of Ecology, 2006, 25(11): 1 370-1 374.
**齐泽民, 杨万勤. 苞箭竹根际土壤微生物数量与酶活性[J]. 生态学杂志**, 2006, 25(11): 1 370-1 374.

[35] Zhang Y M, Zhou G Y, Wu N. A review of studies on soil enzymology[J]. Journal of Tropical and Subtropical Botany, 2004, 12(1): 83-90.
**张咏梅, 周国逸, 吴宁. 土壤酶学的研究进展[J]. 热带亚热带植物学报**, 2004, 12(1): 83-90.

[36] Kong X S, Zhang M X, Guo X P. Effect of $Cd^{2+}$ toxic permeability on protective enzyme activity and membrane cells of maize seedlings [J]. Agro-Environmental Protection, 1999, 18(3): 133-134.
**孔祥生, 张妙霞, 郭秀璞. $Cd^{2+}$毒害对玉米幼苗细胞膜透性及保护酶活性的影响[J]. 农业环境保护**, 1999, 18(3): 133-134.

[37] Li M, Li C T, Fan B Q, *et al*. Analysis of garlic rhizosphere soil organic compounds GC/MS [J]. Jilin Agrticulture, 2013(3): 48-49.
**李敏, 李长田, 范丙全, 等. 大蒜根际土壤有机化合物的 GC/MS 分析[J]. 吉林农业**, 2013(3):48-49.

[38] Zhang X L, Pan Z G, Zhou X F, *et al*. Autotoxicity and continuous cropping obstacles [J]. Chinese Journal of Soil Science, 2007, 38(4): 781-784.
**张晓玲, 潘振刚, 周晓峰, 等. 自毒作用与连作障碍[J]. 土壤通报**, 2007, 38(4): 781-784.

[39] Du H L, Li L Q, Pan G X, *et al*. Effects of applying coal ash and fertilizers on soil microbial biomass and enzyme activity [J]. Soil and Environmental Sciences, 2001, 10(1): 20-22.
**杜慧玲, 李恋卿, 潘根兴, 等. 粉煤灰结合施肥对土壤微生物和酶活性的效应[J]. 土壤与环境**, 2001, 10(1): 20-22.

[40] Song R, Wu C S, Mou J M, *et al*. Effects of maize stubble remaining in field on dynamics of soil microbial biomass C and soil enzyme activities [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2002, 13(3): 303-306.
**宋日, 吴春升, 牟今明, 等. 玉米根茬留田对土壤微生物量碳和酶活性动态变化特征的影响[J]. 应用生态学报**, 2002, 13(3): 303-306.

[41] Fragoeior S, Magna N. Enzymetic activity, osmotic stress and degradation of pesticide mixtures in soil extract liquid broth inculatede with *Phanerochate chrysosporium* and *Trametes wrisicolor* [J]. Environmental Micorobiology, 2005(7): 348-355.

[42] Bossio D A, Girvan M S, Verchot L, *et al*. Soil microbial community response to land use change in an agricultural landscape of western Kenya [J]. Microbial Ecology, 2005, 49: 50-62.

[43] Schmidt K R, Chand S, Gostomski P A, *et al*. Fungal inoculum sproperties and its effect on growth and enzyme activity of Trametes versicolor in soil [J]. Biotech Pro, 2005, 21: 377-385.

[44] Li C G, Li X M, Wang J G. Effect of soybean continuous cropping on bulk and rhizosphere soil microbial community function[J]. Acta Ecologica Sinica, 2006, 26(4): 1 144-1 150.
**李春格, 李晓鸣, 王敬国. 大豆连作对土体和根际微生物群落功能的影响[J]. 生态学报**, 2006, 26 (4): 1 144-1 150.

[45] Ma Y H, Wei M, Wang X F. Variation of microflora and enzyme activity in continuous cropping cucumber soil in solar greenhouse[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2004, 15: 1 005-1 008.
**马云华, 魏珉, 王秀峰. 日光温室连作黄瓜根区微生物区系及酶活性的变化[J]. 应用生态学报**, 2004,

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

15：1 005-1 008.

[46] Liu J G，Zhang W，Li Y B，*et al*. Effects of long-term continuous cropping system of cotton on soil physical-chemical [J]. Scientia Agricultura Sinica，2009，42(2)：725-733.

**刘建国，张伟，李彦斌，等. 新疆绿洲棉花长期连作对土壤理化性状与土壤酶活性的影响[J]. 中国农业科学**，2009，42(2)：725-733.

[47] Li N，Song F P，Yang Y，*et al*. Effects of cropping years on soil microbial community in the rhizosphere of garlic [J]. Journal of Soil land Water Consevation，2013，27(5)：209-218.

**李妮，宋付朋，杨岩，等. 轮作年限对大蒜根际土壤微生物群落的影响[J]. 水土保持学报**，2013，27(5)：209-218.

[48] Qiu L P，Liu J，Wang Y Q，*et al*. Studies on the relationship between soil enzyme activities and soil fertility [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science，2004，10(3)：277-280.

**邱莉萍，刘军，王益权，等. 土壤酶活性与土壤肥力的关系研究[J]. 植物营养与肥料学报**，2004，10(3)：277-280.

[49] Sun Q，Chen R，Song N P，*et al*. In loess hilly region of Ningnan potato continuous cropping soil nutrients，enzyme activity and evolution of microbial flora [J]. Journal of Soil land Water Consevation，2010，24(6)：208-212.

**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.

[50] Song G J，Feng H Q，Li G P，*et al*. Autumn migration of *Apolygus lucorum* in Henan Province revealed by the Rb marking technique [J]. Chinese Journal of Applied Entomology，2012，49(3)：626-630.

**宋国晶，封洪强，李国平，等. 河南省绿盲蝽秋季迁移的铷标记研究[J]. 应用昆虫学报**，2012，49(3)：626-630.

[51] Wang X Z，Yao L J，Wang Y L，*et al*. Effects of continuous cropping for different years on garlic rhizosphere soil nutrients contents，microorganisms number and enzyme activities [J]. Journal of Henan Agricultural Sciences，2016，45(9)：58-63.

**王喜枝，姚丽娟，王艳丽，等. 不同连作年限对大蒜根际土壤养分含量、微生物数量及酶活性的影响[J]. 河南农业科学**，2016，45(9)：58-63.

[52] Wang M. Discussion on garlic fertilization problems and suggestions [J]. China Fruit and Vegetable，2004(5)：29.

**王慕. 浅谈大蒜施肥存在问题及建议[J]. 中国果菜**，2004(5)：29.

[53] Zhou Y L. Research on allelopathy and identification of allelochemicals of garlic root exudates [D]. Yangling：Northwest A and F University，2007.

**周艳丽. 大蒜(*Allium sativum L*)根系分泌物的化感作用研究及化感物质鉴定[D]. 杨凌：西北农林科技大**，2007.

[54] Liu J，Wu F Z，Lu T. Effects of different interplanting round on the yield and quality of cucumber under the condition of facilities [J]. Northern Horticulture，2008(12)：44-46.

**刘静，吴凤芝，吕涛. 设施条件下不同轮套作对黄瓜产量及品质的影响[J]. 北方园艺**，2008(12)：44-46.

[55] Liu X J，Xu Y L，Li C J，*et al*. Effect of soybean rotation system on the bacterial physiological groups [J]. Soybean Science，2007，26(5)：723-727.

**刘新晶，许艳丽，李春杰，等. 大豆轮作系统对土壤细菌生理菌群的影响[J]. 大豆科学**，2007，26(5)：723-727.

[56] Liang J，Cheng Z H. Research progress in garlic white rot and its control [J]. Chinese Vegetables，2010(14)：13-18.

**梁静，程智慧. 大蒜白腐病及其防治方法研究进展[J]. 中国蔬菜**，2010(14)：13-18.

[57] Miller D A. Allelopathy in forage crop systems[J]. Agron J，1996，88(1)：854-856.

[58] Li H Z，Huo J Y. The mechanism of vegetable continuous cropping obstacle and ecological breeding [J]. Northern Horticulture，2005(3)：10-11.

**李好琢，霍建勇. 蔬菜作物的连作障碍发生机理及生态育种[J]. 北方园艺**，2005(3)：10-11.

[59] Duan Y Y，Zeng L Q，Zhang Z K，*et al*. Effects of effective microorganisms on the growth of potatoes [J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences，2005，18(6)：752-754.

**段玉云，曾黎琼，张仲凯，等. EM 对马铃薯生长的影响研究[J]. 西南农业学报**，2005，18(6)：752-754.

□

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net