

麦棉套种模式的生态功能与利用^{*}

李向东^{1,*} 季书勤¹ 王汉芳¹ 郭瑞¹ 张德奇¹ 杨铁钢²

(¹ 河南省农业科学院小麦研究中心, 郑州 450002; ² 河南省农业科学院经济作物研究所, 郑州 450002)

摘 要 麦棉多作套种技术在我国有很悠久的历史。本文对该技术在生态系统物质、能量循环方面的研究进展进行了综述。概括了麦(小麦)棉(棉花)多作套种复合生物生态系统的特征以及共生生物群落的组分和结构, 分析了麦棉多作套种循环模式复合生物配置的生态系统功能与作物之间的互作效应。对未来有待进一步研究的方向进行了展望, 提出构建麦棉多作套种复合生物共生循环配置模式, 实现棉田生物多样性、维持棉田生态系统平衡、提高土地和资源利用效率, 实现较高的生态和经济价值。

关键词 棉田; 套种; 生物多样性; 循环农业

中图分类号 S34 文献标识码 A 文章编号 1000-4890(2009)12-2607-06

Ecological functions of wheat/cotton intercropping system. LI Xiang-dong¹, JI Shu-qin¹, WANG Han-fang¹, GUO Rui¹, ZHANG De-qi¹, YANG Tie-gang² (¹Wheat Research Center, Henan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450002, China; ²Industrial Crop Institute, Henan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450002, China). *Chinese Journal of Ecology* 2009 28(12) 2607-2612.

Abstract: Wheat/cotton intercropping has a long history in China. This paper summarized the structural characteristics of this intercropping system, its functions in ecosystem material and energy cycling, and the relationships between these functions and the interactive effects of wheat and cotton. Some suggestions for further study were proposed on the arrangement modes of this intercropping system to maintain cotton field biodiversity and ecosystem balance, enhance land and natural resources (radiance, heat and water) utilization efficiency, and achieve higher ecological and economical benefits in cotton field.

Key words: cotton field; intercropping; biodiversity; circular agriculture.

中国人多地少的现实和矛盾, 形成了长期精耕细作的耕作习惯, 复种指数较高。但长期相对单一化的作物种植结构, 降低了农田的物种数量和生境多样性, 导致农田生态系统的不稳定和害虫问题的更加恶化。据调查, 中国典型农业类型区农田生态系统多样性指标普遍偏低, 甚至超出了合理的指标范畴。近 20 年, 物种多样性的空前丧失已引起了人们广泛的关注, 物种多样性与生态系统功能的关系已成为生态学领域的焦点问题(Loreau *et al.* 2001; 江小雷等 2004)。日趋严重的环境问题使人们更加关注农业的命运, 循环农业的兴起, 使人类看到了农业持续发展的希望(陈丽等 2006)。因此, 农田生态复合系统配置模式已成为中国农作制度的一项

创新技术, 也是循环农业生物复合模式的重要内容。

棉花是中国重要的经济作物, 棉田复合种植一直是中国农作制度研究的一个重要领域。在目前循环经济和循环农业背景下, 创新构建新型棉田复合生态系统和棉田复合生物配置具有重要的现实意义和推广应用价值。

1 棉田单一种植存在的主要问题

1.1 农田生物结构单一导致光温资源利用率低、持续生产能力不足

在中国棉花主要生产地区, 长期以来一直实行棉花的单作种植方式, 但棉花单作种植方式从播种到收获所耗费的时间较长, 不仅有大量空闲的时间, 也有大量的空间地幅, 使大量的光温资源得不到充分吸收和利用, 白白浪费掉。目前, 棉田大部分为重

*“十一·五”国家科技支撑计划资助项目(2007BAD89B01)。

* 通讯作者 E-mail: hnlxd@126.com

收稿日期: 2009-03-02 接受日期: 2009-07-15

茬地,有的地块种植年限在10~20年以上,土壤中积累了大量病残体,致使枯、黄萎病连年发生,多年重茬也导致了棉株因土壤中某种养分缺乏而生长不良(王海星和高卫增,2008)。养分匮乏和持续生产能力不足也是棉田单作种植造成的一大问题。

中国人多地少的生产实际,使得提高复种指数成为增加耕地产出能力的重要途径。在黄淮海棉区,20世纪80年代以来,耕作制度和集约种植发展迅速,90年代以后以麦棉两熟为主体的种植制度成为整个黄淮海棉区的主导模式。但受该区域光热水资源的制约(中国农业科学院棉花研究所,1983),黄淮海棉区两熟种植棉花单产不高、优质棉产出率低,棉花迟发晚熟与棉茬小麦晚播低产的不良循环日趋严重,集中反映出本地区两熟种植多年生产的持续性不强,整体生产效率和种棉比较效益下降(毛树春等,1995)。

棉花多元多熟立体种植,可以借助高秆和矮秆、禾本科与豆科、窄叶与宽叶、喜荫与耐荫等作物的配置组成一个复合群体,从而提高单位面积土地光合面积,提高光合效率,进而提高整个棉田生态系统的生产力。

1.2 病虫害加重、防治成本过高

从棉花生产过程看,由于有多种病虫害发生,需施用大量农药进行防治,棉田用药量约占农药总用量的1/3。但棉田施药只有10%~20%是喷在棉株上,40%~60%落在其他作物或地面上,还有5%~30%漂浮在空气中(纪从亮,2003)。农药的大量使用,不仅加重了防治成本,而且对大气和农田环境污染也很严重。譬如在新疆由于植棉面积的逐年扩大,大部分棉区棉花面积占到耕地面积的60%~80%,由于超长连作,品种单一,棉田生态系统脆弱,棉花有害生物逐年加重。随着病虫害的蔓延和控制难度提升,化学农药使用量逐年增加,导致害虫抗药性提高,天敌种群数量下降,自然控制害虫的能力减弱。由于多数棉田害虫都具有多食性,除危害棉花外,还能为害小麦、玉米等作物(范宏迪等,2006)。

由于农药的大量施用,造成棉田生态系统立体污染十分严重。虽然棉花农药用量占全部农作物总用量的30%~40%(毛树春,1999),但农药有效利用率只有10%~30%(米长虹等,2000)。大量农药的使用,不仅加大了农田投入成本,而且严重污染环境;一些病虫害抗药性越来越强,防治越加困难,与棉花相邻的其他作物也受到不同程度的危害。农药

的大量、无节制施用和农药残留对土壤、水体和大气造成极其严重的污染,生态平衡受到破坏,生物多样性明显下降,同时对人类健康威胁极大(李付广等,2005)。

综上所述,运用生物防治等病虫害综合防治措施,是减少棉田农药的过分投入、降低防治成本和保护农田生态环境的有效手段。

2 麦棉多作套种循环模式复合生物配置的结构和类型

2.1 麦棉多作套种循环模式复合生物配置的主要结构

作物群落的结构是指作物群落的组分、配置及其相互关系。主要包括组分结构、空间结构和时间结构。群落的垂直(地上与地下)成层与水平斑块镶嵌构成群落空间结构。群落成员的多度、密度和优势度等随物候变化的现象为时间格局,其生态学意义是群落成员在时间维度上适应环境变化,提高空间与资源利用率。作物群体之间的相互利害关系,彼此影响、互利共生。

麦棉多作套种循环模式以小麦/棉花为主导作物,通过小麦与棉花的套种以及棉花与其他作物的间套作,形成棉花与前、后茬作物有一定共生期的生物复合共生的生态系统。复合生物配置是棉田复合生物群落的重要组成部分,包括构成棉田复合配置的各种生物,如粮食作物、油料作物、瓜果蔬菜、中草药等。不仅在空间上包括前后茬衔接的套作,也包括同期共生活有一定共生期的间作、混作。它充分利用不同作物之间的共生、寄生、伴生各种关系,实现棉田生物复合配置的生物多样性,维持棉田生态系统平衡,提高土地和资源利用效率,实现较高的生态和经济价值。

2.2 麦棉复合生物配置的类型

麦棉复合生物配置的形式多样,按种植季节可以划分为(纪从亮,2003):1)前季作物和棉花套作。套种作物在棉花移栽之前种植,与棉花生长前期有短期共生。如秋播春(夏)收的小麦、豆类、油菜、大蒜、秋菜,冬播春(夏)收的马铃薯,春栽夏收的果豆类等。2)和棉花同季间作。间作作物与棉花生长部分全期共生。如春栽夏收的瓜果、蔬菜,春种秋收的瓜果蔬菜、中药材、粮油作物等。3)后季作物和棉花套作。夏季或秋季套种秋冬季收获的作物,与棉花生长后期短期共生。主要包括多种食叶类蔬

菜、晚秋小宗经济作物等。

如果按照作物配置来分,可以分为4类:1)棉粮配置。指棉花和粮食作物的不同组合,包括棉花和小麦、玉米的间套作。这种模式粮食作物与棉花生长部分或全期共生,在黄淮平原面积较大。不仅可以保证粮食产量,同时可以用棉花的经济价值实现农田的高效益。2)棉经配置。指棉花和经济作物的不同组合,包括棉花和豆类、油菜、花生的间套作。这种模式经济作物与棉花生长部分或全期共生。由于具有较高的经济价值,是两熟棉区的主要模式之一。3)棉菜(瓜)配置。指棉花和瓜菜类的不同组合,包括棉花和多种食叶类蔬菜、大蒜、马铃薯、果蔬、果豆、西甜瓜等的间套作。由于同样具有较高的经济价值,生物种类又多样化,因此也是两熟棉区的主要模式之一。4)其他配置。指棉花和药材、花卉、果树等其他作物的组合,需根据各地不同情况,结合当地生态和经济特点适当发展,面积不宜太大。

综上所述,棉田生物复合配置的类型多样,如果其组分保持相对稳定有序的结构,在循环农业理念下,作为中国现代植棉技术的改进和集成创新,必将变得更为丰富和适应现代农业的发展要求。

3 麦棉多作套种循环模式复合生物配置的生态功能与互作效应

3.1 提高资源利用效率

群落的垂直(地上与地下)成层与水平斑块镶嵌构成群落空间结构。“层-块”布局的生态学意义是需求各异的群落成员占据各自的生态位,形成独特的群落环境,互惠互利地利用地上(下)的各种资源(陈丽等,2006)。麦棉多作套种循环模式复合生物配置的生物多样性拓展了棉田生态系统的生态位,提高了资源利用率和生产效率。棉田复合生物群落的生物多样性增强了作物间的互补作用,生物多样性的合理利用,直接改善了棉田生态环境,特别是小气候和土壤环境,同时促进了养分的充分吸收利用和在系统内的循环。

张淑莲等(2003)的研究表明,麦(小麦)-棉(棉花)-辣(辣椒)-米(玉米)立体多熟种植中小麦株低茎秆纤细,叶小根浅,生长于冬春夏初季节,而玉米、辣椒和棉花生长于夏秋季节,时间呈连续分布,在空间上玉米植株高大,占据上层,能满足对光热需求,棉花处于中间,枝叶繁茂,调节能力强,7—9月生长

期光照充足,插种玉米不会形成明显遮光,辣椒植株相对矮且叶形小,在炎夏季节处于下层,光照较弱,温度低,湿度大,有利于辣椒角果的生长。地下部根系分布由浅至深依次为辣椒→玉米(或小麦)→棉花,可避免争水争肥矛盾,提高水肥利用效率,且有丰富的枝叶、根茎还田,可保证土壤肥力不致衰减和对密集劳动的要求。

麦棉多作套种循环模式复合生物配置中多种作物在一起组合,能够充分发挥不同作物之间的形态互补、生育期互补、生态互补和边缘优势,可以利用不同作物之间的交错地带,充分发挥光、热、水等资源的优势,维持土壤肥力的持续性,实现最大化的边际效应。目前,中国农田氮素肥料施用普遍较多(过量),麦-棉套种循环模式复合生物配置可以提高对土壤养分利用的综合利用,减少氮素的过度利用和损失。据作者在河南扶沟县调查,在棉花生长前期的种植带空幅以及吐絮后期套种作物或培肥作物后,可明显地改善棉田的土壤肥力条件,使棉花有效果节数量增加,中后期成铃性增强,棉花产量得到相应的显著提高。目前黄淮海大面积的麦棉两熟,纯收益比单作高15%左右,棉花与瓜、菜、油间、套作,经济效益将比单作棉田高2~3倍。

3.2 防治病虫害

在麦棉多作套种循环模式复合生物配置中,物种间既有生存竞争又有伴生和联合作用。物种间除了生存竞争外,物种的多样性也是单个物种生存的基础和条件。在目前循环农业和环境保护的背景下,生物防治已成为棉花病虫害综合防治的重要手段。如何增强天敌的数量和控制能力,减少化学农药的施用量,是今后棉田病虫害生物防治的有效手段之一。

棉田复合生物配置不仅可以增加生物多样性,而且是昆虫的多样性增加,使整个棉田生态系统的稳定性提高,不利于病虫害的大面积发生,如麦套棉、棉花与玉米大豆间作等,都可以对棉田病虫害起到很好的生物防治效果(夏敬源等,1996)。通过适当的栽培措施来保护增殖天敌,增强其对棉花害虫的控制作用是棉花害虫综合防治的重要方面(崔金杰等,1994)。墨西哥和美国的研究亦表明,棉花和玉米、高粱、苜蓿等作物间作或条带种植可以减轻棉铃虫属的危害,并能增加天敌数量(崔金杰,1997)。

棉田复合生物配置有利于棉花害虫天敌的越冬和繁衍生长。如在麦棉套作田地里,瓢虫类、草蛉

类、食虫螨类、蜘蛛类等棉花害虫天敌的繁殖和小麦行间的阻隔作用限制了棉蚜种群的早期增长,同时也控制了棉蚜迁入的机会,故危害远比单作棉田轻。又如前作为苜蓿,其根系分泌物可使棉花枯萎病的发生明显降低(孙文浩和余叔文,1992)。范宏迪等(2006)在新疆绿洲棉田的调查研究发现,随着生态带种植年限的增加,棉田内害虫种群数量逐年减少,天敌数量特别是瓢虫数量逐年平稳增加,年际间总的天敌种群/害虫种群增加近60倍。

3.3 化感效应

针对超长连作造成棉田生态系统脆弱、棉花有害生物逐年加重,病虫害的蔓延和控制难度提升,化学农药使用量逐年增加,导致害虫抗药性提高,天敌种群数量下降,自然控制害虫的能力减弱的。在棉田复合配置中,一种作物根系的分泌物能促进另一种作物根系的生长。同时作物间的互作和生化他感也具有联合防御的功能。利用作物间化感效应引进功能性作物构建复合系统,可以利用其他生物有效地防治棉花病虫害的发生和危害,减少农药施用量,可以最终实现农药减投的棉田有害生物的生物防治。

研究显示,一些作物根系酚酸类化感物质可以直接杀死棉田有害生物,同时增强棉花生长发育、根系活力,进而影响产量构成。但也有一些分泌物随浓度变化对棉花有不同的影响,如孙磊等(2006)的研究表明,小麦根区土壤及近根系石英砂中化感物质对棉苗生长影响,低浓度化感物质对棉花根系及地上部分鲜重、棉苗总叶绿素、叶绿素a、叶绿素b含量及叶绿素a/b影响较小;高浓度化感物质引起了根系质膜透性的升高,导致了根系吸收功能的减弱,从而影响了物质累积,鲜重显著降低。

孙磊等(2006)认为,小麦根系分泌物随浓度的上升对棉花根系抑制作用增强,这可能是麦棉套作期间棉苗长势较弱的重要原因。但孟亚利等(2005)的研究发现,麦棉套作地下部不仅存在小麦对棉花营养竞争的不利一面,同时还存在小麦根系促进棉花根际土壤酶活性和土壤养分含量提高的有利一面,且此效应将持续影响套作棉花一生。棉花与高粱轮作,高粱根系的分泌液可以使棉花黄萎病菌(大丽轮枝菌)的种群数量减少或不能发育成菌丝,从而有效的抑制了棉花黄萎病的发生(王淑民,1999)。

综上所述,利用不同作物之间的化感作用,在麦

棉多作套种循环模式复合生物配置中可以优化棉花与其他作物的合理配置,使其对棉花产生有利的影响并维持整个生态系统的稳定和平衡。

3.4 生物多样性保护

生物多样性是维持生态系统平衡的条件之一。多样性较高的群落对入侵有较强的抵抗力,物种贫乏的群落比物种丰富的群落更容易遭到入侵。随着物种的增加,竞争加剧,群落能够更充分地利用有效资源,使群落中剩余的资源量相对较少,入侵种可获得资源就越少,因而对其他种的入侵有较强的抵抗力(Case,1990)。当灾害性天气或某种害虫或病菌的入侵时,作物种类单一的农田生态系统就可能造成严重打击甚至毁灭。人为的不断干扰使农田生态系统内部的自我调节功能逐步降低(Swift & Anderson,1993)特别是化学农药取代有害生物(病、虫、杂草等)的生态控制(Cox & Atkins,1979),结果导致害虫产生抗药性(resistance)、次要害虫的再生猖獗(resurgence)、农药残留(residue)等一系列影响人畜健康、食品安全和环境质量的严重问题(尤民生等,2004)。

各种农作物种类的生物学特性以及各个生育期对环境条件的适应是不同的。罗志义(1982)在上海佘山地区研究了棉田节肢动物群落的多样性,发现在棉田生态系统中,影响群落多样性的主要因素是群落的优势种和棉田的生育阶段。当地棉田群落中蚜虫是优势种群,占总数量的75%~93%,由于群落多样性是群落丰富度的函数,当优势种群占的比例越高,均匀性越低,势必影响多样性的值。棉株不同的发育阶段表现不同的空间结构并且出现不同的器官,对群落多样性有明显的影响。

根据现有的生态学理论和研究成果,采取下列措施可望提高农田生物群落的多样性,强化天敌的控制作用,维持较低的害虫水平(Altieri,1999),如合理安排作物的时空格局(不同作物混栽)以提高作物的多样性,采用轮作、快熟品种、休耕等措施,进行间断性单作。在华北棉区,通过合理安排作物布局,提高棉田生态系统的生物多样性,抑制病虫害,保护和诱集天敌,提高土壤肥力,最终达到获取较高的经济、环境和社会效益的目的(李典谟,1990)。

早在20世纪70—80年代,中国就曾示范推广小麦棉花套种、在平作春棉种植油菜、玉米诱集带控制棉花害虫的技术(周明群等,1986)以及麦套春棉、麦套春棉地边种玉米诱集带和麦套棉邻近播种

玉米等不同的立体种植方式(文绍贵等,1995),这些立体种植方式对棉花主要害虫及其天敌种群的消长,具有很大的影响,对棉花主要病虫害如黄萎病有明显的缓解作用(刘学堂等,1994)。河南农学院的调查显示(1983),单作棉田4月20日已有蚜虫发生,延至第10天,百株蚜量达到144头;套作棉田棉蚜首现时间推迟5d,30d后百株蚜量仅为16头。这是由于在麦、棉套作田里,瓢虫和食蚜虻等天敌的繁殖和麦行的阻隔限制了棉蚜种群的早期增长,同时控制了棉蚜迁入的机会,故危害远比单作棉田轻(何妍等,2007)。实践证明,适当的多作复合模式对保护、增殖天敌种群数量、恢复农田生态平衡具有一定的作用。夏敬源等(1996)1991—1995年根据北方棉区“作物-害虫-天敌”系统的基本特点,研究了棉花害虫生物生态控制技术,并组建了麦套棉田害虫生物生态控制技术体系。

综上所述,由于不同作物生育期的差异和不同生育期对害虫为害的敏感度不同,不同作物间作或条带种植能够有效地减轻害虫危害。因此,运用生物多样性原理构建棉田复合配置生态系统来改善棉田生态环境,预防和控制病虫害的发生,保持棉田生态系统平衡。

4 展 望

4.1 棉田复合生物共生循环的原理

群落时空格局是自然群落与环境相互作用过程中形成的自组织结构,具有与环境和谐、最大限度地利用自然资源与空间的效能。在农业生产实践中,可效仿自然群落的时空格局进行农业生产。根据棉田各种生物的生态习性,通过时空二维结构上的搭配组合,建立棉田复合生物共生循环配置模式,充分利用光、热、水、气和土等生态要素,实现增加作物产量和物质、能量优化循环的目的。

棉田复合生物共生循环是指按照循环农业的减量化(reduce)、再利用(reuse)、再循环(recycle)、可控化(regulating)的“4R”技术原则为指导(高旺盛等,2007),针对目前中国集约化棉田生态系统结构愈益简单、光热等自然资源综合循环利用率降低、农田生态位缺失、农田内物质小循环不畅以及系统整体抗逆自我调节功能弱化等制约棉田内循环效率的突出问题,通过新型功能生物引进与物种(品种)的优化配置,建设生态位协同循环的棉、粮、经、蔬共生循环模式,提高农田生态系统对光热等自然资源的

周年高效循环利用以及农田系统养分资源的内循环高效利用,进而达到农田减量、高效、低耗的循环系统目标。

4.2 棉田复合生物共生循环配置模式的构建

针对中国棉田因农田生物结构单一导致的农田复合生产系统光、温资源利用率低,水肥投入量大,病虫害防治成本过高等实际问题,通过生态位互补与功能型物种引进并进行科学化配置,实现复合共生系统对光温资源高效利用,农药、水、肥的减投,同时提高农田总体效益的目标。包括:1)光、温资源高效利用型棉田复合系统构建。以提高棉田光、温资源利用效率为目标,重点引进粮、菜、草等物种填补时间生态位,实现棉花与粮草等作物合理的间套作种植方式和田间配置、间套作复合系统水肥、机械管理与病虫害综合防治,形成棉田周年光温资源高效利用的棉粮(草、菜)共生高效循环模式和技术体系。2)生防减药棉田复合系统构建。以减少棉田农药投入为目标,利用种间互利关系原理与作物间化感效应引进功能性作物构建复合系统,实现复合共生系统(棉蒜、棉花-芹菜等)的科学化配置、生物防治与化学防治综合防治。形成光温资源高效循环利用、农药减投的棉田共生高效循环模式和技术体系。

4.3 棉田复合生物共生循环的物质和能量循环

棉田复合生物共生循环系统的构建是为了获取更大的经济和生态效益。既包括直接从农田生态系统自身获取的效益,也包括农田生态系统给毗邻的自然和其他生态系统稳定和平衡带来的间接效益和价值。

通过棉田复合生物共生循环模式的构建,可以改善营养的根际效应,提高作物对土壤养分的吸收利用,提高农田系统生产力。通过棉田复合生态系统的构建,可以有效地控制棉田病虫、杂草危害,减少农药施用,促进了棉田复合生态系统内物质能量的有效循环,提高系统的物质和能量循环能力。

农田复合系统生产技术通过合理利用不同生物之间的相生相克作用,提高了生物间的互补性,使系统内物质和能量转化效率显著提高,并使有害生物数量减少,创造了有害物质减量化的基础,利用生物防治替代化学防治实现农药减量化。

农田生态系统尽管是人工生态系统,但由于它在功能和所处地理位置的某些特殊性,使得农田生态系统与人类的发展有着密切关系。因此,利用农

田生态系统多样性平衡原理构建棉田生物多样性复合配置,对中国棉田生态系统的稳定、病虫害综合防控和棉田生产力的持续稳定和提高均有十分重要的现实意义。

参考文献

- 陈丽,周青. 2006. 略论循环农业中的生态学原理. 生态经济, (10): 263-266, 269.
- 崔金杰,马艳. 1994. 利用自然控制因素防治棉花害虫. 昆虫知识, 31(4): 20-23.
- 崔金杰,文绍贵. 1997. 立体种植对主要棉花害虫的生态效应. 河南农业大学学报, 31(1): 44-48.
- 范宏迪,杨治明,付文进. 2006. 生态带对棉田主要害虫和天敌种群数量的动态影响. 中国棉花, (10): 26-27.
- 高旺盛,陈源泉,梁龙. 2007. 论发展循环农业的基本原理与技术体系. 农业现代化研究, 28(6): 731-734.
- 何妍,周青. 2007. 边缘效应原理及其在农业生产实践中的应用. 中国生态农业学报, 15(5): 212-214.
- 纪从亮. 2003. 也谈棉田立体种植. 中国棉花, 30(9): 43-44.
- 江小雷,张卫国,严林,等. 2004. 植物群落物种多样性对生态系统生产力的影响. 草业学报, 13(6): 8-13.
- 李典谟. 1990. 华北黑龙港棉区病虫害综合治理体系研究. 棉花病虫害综合防治及研究进展. 北京: 中国农业科技出版社: 20-26.
- 李付广,章力建,崔金杰,等. 2005. 中国棉花生态系统立体污染及其防治对策. 棉花学报, 17(5): 299-303.
- 刘学堂,李玉奎,李为. 1994. 麦套春棉黄萎病发生、消长规律调查初报. 棉花学报, 6(增刊): 69-71.
- 罗志义. 1982. 上海佘山地区棉田节肢动物群落多样性及杀虫剂对多样性的研究. 生态学报, 2(3): 255-266.
- 毛树春. 1999. 中国棉花可持续发展研究. 北京: 中国农业出版社: 149.
- 毛树春,邢金松,宋美珍,等. 1995. 黄淮海棉区棉麦两熟光能流和物质流研究. 棉花学报, 7(4): 226-232.
- 孟亚利,王立国,周治国,等. 2005. 麦棉两熟复合根系群体对棉花根际非根际土壤酶活性和土壤养分的影响. 中国农业科学, 38(5): 904-910.
- 米长虹,黄土忠,王继军. 等. 2000. 农药对农田土壤的污染及防治技术. 农业环境与发展, 17(4): 23-25.
- 孙磊,陈兵林,周治国. 2006. 麦棉套作系统中小麦根区化感物质对棉苗生长的影响. 棉花学报, 18(4): 213-217.
- 孙文浩,余叔文. 1992. 相生相克效应及其应用. 植物生理学通讯, 28(2): 81.
- 王海星,高卫增. 2008. 当前冀中南棉区生产管理中存在的问题及改进措施. 经济作物, (1): 97-98.
- 王淑民. 1999. 高粱根部渗出液可减轻黄萎病发病. 棉花学报, 7(4): 1.
- 文绍贵,崔金杰,王春义. 1995. 不同立体种植对棉花主要害虫及其天敌种群消长的影响. 棉花学报, 7(4): 252-256.
- 夏敬源,文绍贵,崔素贞. 1996. 棉花害虫生物生态控制关键技术研究. 棉花学报, 8(5): 225-228.
- 尤民生,刘雨芳,侯有明. 2004. 农田生物多样性与害虫综合治理. 生态学报, 24(1): 117-122.
- 张淑莲,陈志杰,张锋,等. 2003. 麦-棉-辣-米立体组合种植模式及效益探析. 中国生态农业学报, 11(3): 134-136.
- 中国农业科学院棉花研究所. 1983. 中国棉花栽培学. 上海: 上海科技出版社: 194-321.
- 周明群,杨奇华,谢以栓. 1986. 冀南棉麦混作区棉花害虫综合防治技术的研究. 植物保护学报, 13(4): 251-254.
- Altieri MA. 1999. The ecological role of biodiversity in agro-ecosystems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 74: 19-31.
- Case TJ. 1990. Invasion resistance arises in strongly interacting species-rich model competition communities. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 87: 9610-9614.
- Cox GW, Atkins MD. 1979. *Agricultural Ecology*. Freeman, San Francisco, CA.
- Loreau M, Nacem S, Inchausti P, et al. 2001. Biodiversity and ecosystem functioning: Current knowledge and future challenges. *Science*, 294: 804-808.
- Swift MJ, Anderson JM. 1993. Biodiversity and ecosystem function in agro-ecosystems// Schultze E, Mooney HA, eds. *Biodiversity and Ecosystem Function*. New York: Springer, 57-83.

作者简介 李向东,男,1967年生,博士,副研究员。主要从事作物栽培与耕作和农业生态研究,发表论文20篇。
E-mail: hnlxd@126.com
责任编辑 李凤芹