

李忠义,张静静,蒙炎成,等. 绿肥还田腐解特征及培肥地力研究进展[J]. 江苏农业科学,2017,45(22):14-18.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.22.004

绿肥还田腐解特征及培肥地力研究进展

李忠义¹, 张静静², 蒙炎成¹, 唐红琴¹, 韦彩会¹, 俞月凤¹, 何铁光¹

(1. 广西农业科学院农业资源与环境研究所,广西南宁 530007;2. 广西大学环境学院,广西南宁 530004)

摘要:绿肥作为一种生物肥源,有改土培肥、提高农产品品质的作用。介绍了我国主要省份的绿肥种质资源,着重阐述绿肥作物翻压后的腐解和养分释放特征,及其还田后对土壤地力和后茬作物的影响,以期绿肥资源的合理利用和农田养分科学管理提供参考依据。

关键词:绿肥;腐解特征;养分释放;培肥地力;生态环境;农业可持续发展

中图分类号: S55;S142 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2017)22-0014-04

绿肥是我国传统农业的精华,作为一种生物肥源,有改土培肥、提高农产品品质的作用。在 20 世纪 70 年代,全国绿肥播种面积达 $1.3 \times 10^7 \text{ hm}^2$,但随着化肥的推广应用,自 20 世纪 80 年代绿肥种植面积迅速滑坡^[1]。近年来,随着土壤环境的恶化,人们对绿色农产品的需求不断增加^[2],农业部制定了土壤有机质提升和化肥减量使用的方案。现代农业呼唤传统农业的精彩回归,因地制宜地种植绿肥,对保障农产品安全、保护农田生态环境、促进农业可持续发展有着重要意义。本文总结

我国主要省份的绿肥种质资源,阐述绿肥作物翻压后的腐解和养分释放特征,及其还田后对土壤地力和后茬作物的影响,以期绿肥资源的合理利用和农田养分科学管理提供参考依据。

1 我国绿肥种质资源

我国幅员辽阔,地域差异性强,不同区域绿肥品种存在很大差异,主要有豆科、禾本科、十字花科、菊科等,不同省份的主要绿肥作物如表 1 所示。

表 1 不同省份主要绿肥作物

省份	绿肥作物	文献来源
黑龙江	紫花苜蓿、草木樨、沙打旺、白羽扇豆、红三叶、黑麦草、胡茅草	[3]
内蒙古	草木樨、毛叶苕子、箭舌豌豆、香豆、紫穗槐、荞麦、油菜	[4]
陕西	苜蓿、苕子、紫云英、草木樨、豌豆、红三叶、黑麦草、夏油菜、籽粒苋、苏丹草、百麦根、皇竹草、紫穗槐、沙打旺、柠条、沙蒿、蚕豆	[5]
甘肃	苜蓿、箭舌豌豆、苕子、田菁、草木樨、香豆子、红豆草、沙打旺、山黧豆	[6-7]
青海	箭舌豌豆、苕子、山黧豆、蚕豆、香豆子、青海苜蓿、油菜、燕麦草	[8]
河北	田菁、沙打旺、草木樨、三叶草、柃麻、苕子、黄花苜蓿	[9-10]
山西	草木樨、箭舌豌豆、山黧豆、柃麻、苕子、蚕豆、豌豆、紫花苜蓿、油菜、绿豆、大豆	[11]
浙江	紫云英、蚕豆、豌豆、黑麦草、白三叶、紫花苜蓿、黄花苜蓿	[12]
江西	紫云英、肥田萝卜、蓝花苕子、饭豆、乌豇豆、合萌、豌豆、绿豆、苜蓿、田菁、柃麻	[13]
湖北	紫云英、苕子、蚕豆、油菜、肥田萝卜	[14]
湖南	紫云英、箭舌豌豆、苕子、印度豇豆、印尼大绿豆、竹豆、白三叶、鸭茅、小葵子、绿豆、青苕、商陆、满园花、黑麦草	[15]
广西	紫云英、苕子、印度豇豆、山黧豆、拉巴豆、紫花苜蓿、田菁、绿豆、肥田萝卜、油菜	[16-17]
福建	紫云英、蚕豌豆、肥田萝卜、红萍、圆叶决明、羽叶决明、平托花生、印度豇豆、百喜草	[18]

2 绿肥作物还田腐解特征

2.1 不同绿肥作物还田腐解特征

不同绿肥作物翻压还田后,受土壤环境、气候条件影响^[19],腐解快慢不一,但其腐解过程一般包括快速腐解期和缓慢腐解期。潘福霞等研究了旱地条件下箭舌豌豆、苕子、山黧豆等 3 种豆科绿肥的腐解和养分释放特征,结果表明,3 种绿肥作物在翻压后 15 d 内为快速腐解期,平均腐解速率分别为 0.34、0.30、0.35 g/d,翻压后 15~70 d 为缓慢腐解期,平均腐解速率仅为 0.023、0.026、0.021 g/d,显著小于前 15 d^[20];李逢雨等将油菜置于稻田行间,研究其腐解特征,结果表明油菜秆在腐解过程中,组织结构的破坏主要发生在腐解的前 10 d,次生木质部以上的维管形成层、韧皮纤维、皮层薄壁组织和表皮均受到破坏而脱落^[21]。绿肥作物前期腐解快,后期腐解慢,原因可能是在腐解前期秸秆中可溶性有机物及无机养分较多,为微生物提供了大量的碳源和养分,微生物数量增加,活性增强;后期随着腐解的进行,秸秆中可溶性有

收稿日期:2016-06-07

基金项目:国家绿肥产业技术体系建设项目(编号:CARS-22);广西科学研究与技术开发计划(编号:桂科攻 1598006-4-4、桂科 AB16380171);广西自然科学基金(编号:2014GXNSFDA118015);广西农业科学院基金(编号:桂农科 2016JZ10、桂农科 2015YT31)。

作者简介:李忠义(1983—),男,山东菏泽人,硕士,助理研究员,从事植物营养与环境生态研究。E-mail:lizhongyi2007@163.com。

通信作者:何铁光,博士,研究员,主要从事农业资源与环境方面的研究。E-mail:tghel118@163.com。

机物逐渐减少,剩余部分主要为难分解的有机物质,导致微生物活性降低,秸秆的腐解也随之变慢^[22-23]。豆科绿肥(大豆、绿豆、长武怀豆、紫云英、紫花苜蓿)^[24-26]、十字花科绿肥(二月兰)^[27]、禾本科绿肥(黑麦草、高羊茅)^[26]、菊科绿肥(菊苣、肿柄菊)^[26,28]等在腐解中均呈现类似的规律。不同绿肥作物腐解速率不同,可能与碳氮比有关,一般情况下碳氮比在(25~30):1时,最有利于微生物活动^[29],有助于有机物的分解。Pereirai 等研究苕麻、刀豆、木豆、猪屎豆、拉巴豆、蠓豆等豆科绿肥还田腐解时指出,苕麻分解最慢,与其高碳氮比有关,而刀豆分解最快,与其低碳氮比有关^[30]。

2.2 不同绿肥作物还田养分释放特征

绿肥翻压后,植株氮、磷、钾养分的释放会对后茬作物生长产生影响,明确绿肥作物翻压后养分的释放规律对科学合理利用绿肥作物具有重要意义。从养分的矿化速率来看,一般情况下钾的释放速率最大,其次是磷、碳、氮。主要原因可能是茎秆中钾不以化合态形式存在,而是以 K^+ 形态存在于细胞中或植物组织内,很容易被水浸提释放出来,释放速度最快;磷、氮以难分解的有机态为主,物理作用下不容易分解,释放速度较慢;而碳主要以有机态存在,不容易腐解^[31]。潘福霞等研究紫云英、箭舌豌豆、苕子、山黧豆、长武怀豆、大豆、绿豆、二月兰、麦秆、油菜秆等还田后,秸秆的养分释放速率由快到慢均为钾>磷>氮^[20-21,24,27,32];吕鹏超等研究覆盖还田方式下大豆、花生的腐解特征。结果表明,大豆、花生秸秆腐解的养分释放率均为钾>磷>碳>氮^[33];邹雨坤等研究不同还田方式下木薯茎秆、香蕉茎秆、小麦茎秆的腐解特征,腐解释放速率由快到慢表现为钾>磷>氮≈碳^[34-36]。

2.3 不同还田方式下绿肥腐解特征^[34]

绿肥在土壤中的腐解是一个复杂的过程,不同还田方式对绿肥的腐解特征存在一定的影响。土壤微生物喜欢高温潮湿的环境,在土埋还田的条件下,土壤的通气状况良好,土壤温度提升较快,从而有利于土壤微生物的活动和酶活性的提高。而在水淹条件下,氧气被阻隔,一些好氧微生物由于得不到充分的氧气而降低了活性,所以使水淹条件下残体的腐解速度变慢,腐解量相对减少^[37]。武际等研究了不同水稻栽培模式和秸秆还田方式下的油菜、小麦秸秆腐解特征,结果表明,在常规栽培模式(水稻常规栽培是指除“烤田期”外,其他生长阶段土壤表层均保持在浅水层状态)下,秸秆覆盖还田腐解率>秸秆土埋腐解率;在节水栽培模式下(水稻节水灌溉栽培是指采用无水层灌溉技术,即在水稻返青后的各个生育阶段,田面不再建立水层),秸秆土埋腐解率>秸秆覆盖^[38];王允青等研究了露天、水泡和土埋3种田间作物秸秆还田方式,结果表明在土埋情况下,小麦和油菜秸秆腐烂速度快于露天和水泡处理,而氮、磷、钾的养分释放速率由快到慢均为水泡>露天>土埋^[39]。在绿肥还田中,不同还田量及还田深度对其腐解特征也有一定的影响。胡宏祥等研究发现,油菜全量还田的秸秆腐解速率<2/3还田量油菜秸秆腐解速率<1/2还田量油菜秸秆腐解速率<1/3还田量油菜秸秆腐解速率^[40];在种植水稻条件下,油菜秸秆还田速度为表层还田>20 cm深度还田>10 cm深度还田,其原因可能是在夏季,水田表层不仅温度高,而且表层土壤中微生物比较活跃,油菜秸秆接触表层土壤时,会接触到很多活性微生物,分解速

度较快;在10 cm深度土层水热组合一般,微生物活动较弱;在深度为20 cm土层,由于水稻根系泌氧作用、根部通气作用和微生物活性都较强^[41-42],有助于微生物的活动。

2.4 腐熟剂对绿肥还田腐熟程度的影响

不经过腐熟的绿肥直接还田,腐熟程度缓慢。秸秆腐熟剂富含高效微生物菌,可促进秸秆快速腐解^[43-44],但在不同还田方式下,效果不一。柳玲玲等在土埋还田方式下研究了8种腐熟剂对油菜秸秆腐熟程度,结果表明,8种腐熟剂对油菜秸秆的腐熟均有不同程度的促进作用^[45]。王允青等研究表明,在露天和土埋还田方式下,添加腐熟剂处理小麦秆、油菜秆腐解速度比不添加腐熟剂快,而在水泡环境中添加腐熟剂提高秸秆腐解速度的效果不明显^[39];李逢雨等研究表明,在水泡环境下添加腐熟剂并未加速小麦秆、油菜秆的腐解速率,可能是由于所用腐熟剂属于好氧型微生物制剂,在淹水厌氧条件下微生物不能起到促腐作用^[21]。

腐熟剂不仅可以影响绿肥的腐熟,同时也可以改善土壤的营养结构。黄秋玉等研究发现,与不施腐熟剂相比,添加腐熟剂后,土壤的有机质含量、碱解氮含量、速效钾含量、阳离子交换含量(cation exchange capacity,简称CEC),均有所提高^[46];王代平等将油菜和小麦秸秆添加腐熟剂还田后发现,土壤养分都有不同程度的增加,且土壤的孔隙度增加、容重降低^[47];吴迎奔等将稻草添加有机物料腐熟剂还田后发现,施加腐熟剂的处理组与未施加处理组相比,土壤全钾含量略有降低,但有机质、全氮、全磷的含量均有所增加,改善了土壤的理化性状^[48]。

3 绿肥还田对土壤地力及后茬作物的影响

3.1 绿肥还田对土壤地力的影响

绿肥还田可改善土壤物理性质^[49-51],增加土壤有机质含量^[52-53]、保持水土^[54-55]、增加土壤氮素^[56-58],活化和富集土壤磷^[59-61]、钾^[62-63],增加土壤微生物数量,改善土壤微生物群落结构的功能多样性^[64-66]。此外,绿肥在增加土壤有机碳库,改善小区域内生态环境有着积极作用。兰延等研究发现,绿肥轮作尤其是紫云英—稻—稻—油菜/花生—稻能提高土壤有机碳质量分数和土壤碳库管理指数^[67];Sharma等研究发现,玉米—小麦轮作田菁、豇豆、绿豆等豆科绿肥能显著提高土壤有机碳量^[68];刘立生等通过30年长期定位试验结果表明,稻—稻—油菜、稻—稻—紫云英、稻—稻—黑麦草模式与稻—稻—冬闲处理相比,稻田土壤总有机碳含量在不同颗粒中平均分布比例均明显提高,且长期种植绿肥土壤总有机碳含量、粗黏粒有机碳含量、细黏粒有机碳含量与时间(年)呈极显著线性正相关^[69];王莉等通过28年的田间定位试验指出,在常量绿肥还田下稻田系统的耐瘠能力显著高于长期单施化肥处理^[70];彭晚霞等研究发现,与清耕茶园相比,白三叶间作和铺草覆盖加强了茶园生态系统的自我调控能力,产量分别增加33.99%、26.19%^[71]。

3.2 绿肥还田对后茬作物的影响

绿肥在后茬作物种植前翻压,使其腐解释放养分供主作物生长利用,从而减少化肥施用量,达到农业生产节本增效的目的^[27]。但过多或单一应用绿肥会影响后茬农作物产量^[72-73],而最佳的化肥替代率根据作物种类、土壤类型和土

壤肥力而定^[74]。Xie 等研究表明,在双季稻区施加氮肥(80%) + 紫云英(20%)和氮肥(60%) + 紫云英(40%)的情况下,土壤肥力和早晚稻产量高于单施氮肥的处理^[75];张久东等研究表明,增施绿肥(毛叶苕子和箭舌豌豆)7 500 kg/hm²可降低施用无机氮肥 67.5 kg/hm²左右,能提升土壤肥力、增加小麦产量^[76];杨璐等研究表明,翻压绿肥(二月兰)后,化肥减量 15%的处理使春玉米平均每株籽粒产量增加 29.0 g,地上部吸氮量增加 0.65 g,显著高于单施化肥处理^[77]。此外,绿肥对提高后茬作物的产量和品质效果明显^[78]。万水霞等研究绿肥—水稻轮作生产体系,结果表明施用紫云英绿肥能显著提高水稻产量^[79-80];李燕青等研究发现,翻压绿肥处理的棉花花铃期叶片叶绿素含量值(soil and plant analyzer development,简称 SPAD)较不翻压绿肥显著提高,籽棉产量增加近 30%^[81];刘国等连续 5 年进行了烤烟—绿肥轮作还田试验,结果表明,长期绿肥还田能显著提高烤后烟叶含钾量,烟叶外观质量较好,评吸得分较高^[82]。

4 展望

2016 年中央一号文件明确指出,加强农业资源保护和高效利用,加快农业环境突出问题治理,加强农业生态保护和修复,推动农业绿色发展。2015 年农业部提出了到 2020 年实现“一控两减三基本”的目标,也制定了《到 2020 年化肥使用量零增长行动方案》。而种植、利用绿肥作物,恰好是一项保护农田生态环境和化肥减量施用的技术措施,因此恢复和发展绿肥产业在现代农业中越来越被放在更加重要和突出的位置。

自 20 世纪 80 年代以来,随着化肥投入的增加,耕地复种指数的提高客观上制约了绿肥的发展空间。此外,国家政策性投入和引导不足,绿肥种植利用处于自发状态。种源缺乏、品种退化、产量下降、劳动力欠缺也制约着绿肥产业的发展。在现今政策的指引下,有阶段、分步骤地恢复和发展绿肥产业对农业可持续发展具有重要意义。

各级政府部门应制定专项扶持方案、设立扶持资金,从绿肥生产、管理及综合利用方面予以扶持,做好宣传工作,扭转重化肥的施肥观念;科研部门加强绿肥品种的收集、选育与留种,搞好良种繁育和提纯复壮,完善绿肥种子生产产业化体系,同时系统地开展绿肥作物的有机肥品质评价,研究其不同还田方式下的腐解动态,建立绿肥相应的效应模型,确定合理的还田方式,从而为绿肥资源的合理利用提供技术参考;在推广应用上,搞好示范基地,建立示范样板,提倡绿肥—作物轮作、绿肥 + 作物间套作、粮肥、菜肥、饲肥兼用、果茶园绿肥等一肥多能,综合利用新路子,探索绿肥种植的最优模式,着力提高绿肥生产的经济、社会和生态效益。

参考文献:

- [1] 曹卫东,黄鸿翔. 关于我国恢复和发展绿肥若干问题的思考[J]. 中国土壤与肥料,2009(4):1-3.
- [2] Zhang L P, Zhang S W, Zhou Z M, et al. Spatial distribution prediction and benefits assessment of green manure in the Pinggu District, Beijing, based on the CLUE - S model [J]. Journal of Integrative Agriculture, 2016, 15(2): 465-474.
- [3] 张久明,宿庆瑞,迟凤琴,等. 黑龙江省绿肥作物生产利用现状及

- 展望[J]. 黑龙江农业科学, 2009(6): 152-154.
- [4] 段玉,曹卫东,妥德宝,等. 内蒙古绿肥综合利用现状及存在问题[J]. 内蒙古农业科技, 2008(7): 23-25.
- [5] 赵娜,赵护兵,曹卫东,等. 陕西省绿肥生产的发展前景初探[J]. 陕西农业科学, 2011, 57(1): 100-102, 129.
- [6] 谢成俊,陈娟. 甘肃省绿肥生产中存在的问题及解决途径[J]. 中国麻业科学, 2012, 34(3): 138-141.
- [7] 包兴国,曹卫东,杨文玉,等. 甘肃省绿肥生产历史回顾及发展对策[J]. 甘肃农业科技, 2011(12): 41-44.
- [8] 曾光秀,姚子纯. 青海绿肥品种资源整理鉴定研究[J]. 青海农林科技, 1997(3): 20-22.
- [9] 刘忠宽,智健飞,秦文利,等. 河北省绿肥作物种植利用现状研究[J]. 河北农业科学, 2009, 13(2): 12-14.
- [10] 秦文利,刘忠宽,曹卫东,等. 河北省发展绿肥的思考与建议[J]. 河北农业科学, 2010, 14(7): 38-41.
- [11] 郑普山,张强,刘根科,等. 山西省绿肥作物种植历史、现状及对策[J]. 山西农业科学, 2010, 38(12): 3-8.
- [12] 王建红,曹凯,姜丽娜,等. 浙江省绿肥发展历史、现状与对策[J]. 浙江农业学报, 2009, 21(6): 649-653.
- [13] 苏金平,刘成鹏,王晓明,等. 江西绿肥作物种质资源及其应用[J]. 江西农业学报, 2012, 24(5): 100-103, 107.
- [14] 吴润,易妍睿,戴志刚,等. 湖北省绿肥种植现状与思考[J]. 中国农技推广, 2015, 31(10): 8-9.
- [15] 聂军,廖育林,彭科林,等. 湖南省绿肥作物生产现状与展望[J]. 湖南农业科学, 2009(2): 77-80.
- [16] 李少泉,甘海燕,莫如平. 发展广西冬种绿肥生产的对策思考[J]. 广西农学报, 2012, 27(6): 1-5.
- [17] 李忠义,胡钧铭,蒙炎成,等. 广西绿肥发展现状及种植模式[J]. 热带农业科学, 2015, 35(11): 71-75, 80.
- [18] 林新坚,王飞,何春梅. 紫云英理论与实践[M]. 北京:中国农业科学技术出版社, 2014: 30-41.
- [19] Talgre L, Lauringson E, Roostalu H, et al. Phosphorus and potassium release during decomposition of roots and shoots of green manure crops[J]. Biological Agriculture and Horticulture, 2014, 30(4): 264-271.
- [20] 潘福霞,鲁剑巍,刘威,等. 三种不同绿肥的腐解和养分释放特征研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2011, 17(1): 216-223.
- [21] 李逢雨,孙锡发,冯文强,等. 麦秆、油菜秆还田腐解速率及养分释放规律研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2009, 15(2): 374-380.
- [22] Tian G, Badejo M A, Okoh A I, et al. Effects of residue quality and climate on plant residue decomposition and nutrient release along the transect from humid forest to Sahel of West Africa [J]. Biogeochemistry, 2007, 86(2): 217-229.
- [23] Thomesen I K, Schjønning P, Jensen B, et al. Turnover of organic matter in differently textured soils: II. Microbial activity as influenced by soil water regimes [J]. Geoderma, 1999, 89(3/4): 199-218.
- [24] 赵娜,赵护兵,鱼昌为,等. 旱地豆科绿肥腐解及养分释放动态研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2011, 17(5): 1179-1187.
- [25] 邓小华,罗伟,周米良,等. 绿肥在湘西烟田中的腐解和养分释放动态[J]. 烟草科技, 2015, 48(6): 13-18.
- [26] 崔志强,李宪利,崔天舒. 果园绿肥腐解及养分释放动态研究[J]. 中国农学通报, 2014, 30(22): 121-127.
- [27] 刘佳,陈信友,张杰,等. 绿肥作物二月兰腐解及养分释放特征研究[J]. 中国草地学报, 2013, 35(6): 58-63.

- [28] Jama B, Palm C A, Buresh R J, et al. *Tithonia diversifolia* as a green manure for soil fertility improvement in western Kenya: a review[J]. *Agroforestry Systems*, 2000, 49(2): 201–221.
- [29] 陆欣. 土壤肥科学[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2002: 46–47.
- [30] Pereira N S, Soares I. de Miranda F R. Decomposition and nutrient release of leguminous green manure species in the Jaguaribe – Apodi region, Ceará, Brazil[J]. *Ciência Rural*, 2016, 46(6): 970–975.
- [31] 吴珊眉, House G J, 韩纯儒. 免耕和常规耕作农田生态系统冬季覆盖作物残茬分解和养分变化[J]. *土壤学报*, 1986, 23(3): 204–211.
- [32] 曹卫东. 绿肥在现代农业发展中的探索与实践[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2011: 218–228.
- [33] 吕鹏超, 梁斌, 隋方功, 等. 不同绿肥秸秆养分释放规律的研究[J]. *作物杂志*, 2015(4): 130–134.
- [34] 邹雨坤, 李光义, 侯宪文, 等. 不同还田方式下木薯茎秆腐解及养分释放特征研究[J]. *中国土壤与肥料*, 2014(6): 86–91.
- [35] 邹雨坤, 李光义, 李勤奋, 等. 不同还田方式下香蕉茎秆的腐解及养分释放特征[J]. *天津农业科学*, 2014, 20(10): 60–64.
- [36] 武际, 郭熙盛, 鲁剑巍, 等. 不同水稻栽培模式下小麦秸秆腐解特征及对土壤生物学特性和养分状况的影响[J]. *生态学报*, 2013, 33(2): 565–575.
- [37] 邵丽. 不同作物残体在不同土壤中的腐解和养分释放速率研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2013: 10–11.
- [38] 武际, 郭熙盛, 王允青, 等. 不同水稻栽培模式和秸秆还田方式下的油菜、小麦秸秆腐解特征[J]. *中国农业科学*, 2011, 44(16): 3351–3360.
- [39] 王允青, 郭熙盛. 不同还田方式作物秸秆腐解特征研究[J]. *安徽农业科学*, 2006, 34(10): 2218, 2220.
- [40] 胡宏祥, 程燕, 马友华, 等. 油菜秸秆还田腐解变化特征及其培肥土壤的作用[J]. *中国生态农业学报*, 2012, 20(3): 297–302.
- [41] 章永松, 林咸永, 罗安程. 水稻根系泌氧对水稻土磷素化学行为的影响[J]. *中国水稻科学*, 2000, 14(4): 208–212.
- [42] 汪晓丽, 司江英, 陈冬梅, 等. 低 pH 条件下不同氮源对水稻根通气组织形成的影响[J]. *扬州大学学报(农业与生命科学版)*, 2005, 26(2): 66–70.
- [43] 赵明文, 史玉英, 李玉祥, 等. 纤维分解菌群对水稻秸秆田间腐熟效果的研究[J]. *江苏农业科学*, 2000(1): 51–53.
- [44] 潘国庆. 酵素菌技术的原理特点及应用效果[J]. *江苏农业科学*, 1999(6): 52–53.
- [45] 柳玲玲, 苟红英, 周瑞荣, 等. 不同秸秆腐熟剂对油菜秸秆腐熟度的影响[J]. *贵州农业科学*, 2014, 42(8): 113–115.
- [46] 黄秋玉, 王才仁, 袁裴裴, 等. 早稻秸秆还田配施腐熟剂对土壤理化性状及晚稻生产的影响[J]. *湖南农业科学*, 2015(1): 45–47.
- [47] 王代平, 陈燕, 黄厚宽. 不同作物秸秆添加腐熟剂进行还田对水稻产量及土壤理化性质的影响[J]. *安徽农学通报*, 2013, 19(5): 64–65.
- [48] 吴迎奔, 许丽娟, 陈薇, 等. 稻草还田添加有机物料腐熟剂对土壤和水稻的影响[J]. *湖南农业科学*, 2013(19): 51–55.
- [49] 黄国勤, 周丽华, 杨滨娟, 等. 红壤旱地不同复种方式养地效果[J]. *生态学报*, 2014, 34(18): 5191–5199.
- [50] Yang Z P, Xu M G, Zheng S X, et al. Effects of long-term winter planted green manure on physical properties of reddish paddy Soil under a double-rice cropping system[J]. *Journal of Integrative Agriculture*, 2012, 11(4): 655–664.
- [51] 盛良学, 黄道友, 夏海鳌, 等. 红壤橘园间作经济绿肥的生态效应及对柑橘产量和品质的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2004, 10(6): 677–679.
- [52] Kang J G, Lee S, Lee K B, et al. Effect of cultivation and application of green manure crop on soil physico-chemical properties in saemangeum reclaimed tidal land[J]. *Korean Journal International Agriculture*, 2014, 26(1): 54–61.
- [53] 郇恒福, 周建南, 高玲, 等. 不同野生大戟科绿肥对酸性土壤有机质含量的动态影响[J]. *热带作物学报*, 2014, 35(4): 678–685.
- [54] 朱青, 崔宏浩, 张钦, 等. 绿肥阻控贵州山区坡耕地水土流失的应用[J]. *水土保持研究*, 2016, 23(2): 101–105.
- [55] Fischler M, Wortmann C S. Green manures for maize-bean systems in eastern Uganda: agronomic performance and farmers' perceptions[J]. *Agroforestry Systems*, 1999, 47(1/2/3): 123–138.
- [56] Yang Z P, Zheng S X, Nie J, et al. Effects of long-term winter planted green manure on distribution and storage of organic carbon and nitrogen in water-stable aggregates of reddish paddy soil under a double-rice cropping system[J]. *Journal of Integrative Agriculture*, 2014, 13(8): 1772–1781.
- [57] 赵秋, 高贤彪, 宁晓光, 等. 华北地区春玉米—冬绿肥轮作对碳、氮蓄积和土壤养分以及微生物的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2013, 19(4): 1005–1011.
- [58] 李正, 刘国顺, 敬海霞, 等. 绿肥与化肥配施对植烟土壤微生物量及供氮能力的影响[J]. *草业学报*, 2011, 20(6): 126–134.
- [59] Meek B D, Graham L E, Donovan T J, et al. Phosphorus availability in a calcareous soil after high loading rates of animal manure[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 1979, 43(4): 741–744.
- [60] Zhang Y S, Wemer W, Sun X. Phosphorus adsorption and desorption in paddy soils as affected by organic manure and cellulose[J]. *Agribiological Research*, 1993, 46: 286–294.
- [61] 线琳, 刘国道, 郇恒福, 等. 施用豆科绿肥对砖红壤有效磷含量的影响[J]. *草业科学*, 2011, 28(10): 1781–1786.
- [62] 线琳, 刘国道, 郇恒福, 等. 施用 8 种野百合属绿肥后砖红壤速效钾含量随时间的动态变化[J]. *热带作物学报*, 2011, 32(2): 198–202.
- [63] 李继明, 黄庆海, 袁天佑, 等. 长期施用绿肥对红壤稻田水稻产量和土壤养分的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2011, 17(3): 563–570.
- [64] 高嵩渭, 曹卫东, 白金顺, 等. 长期冬种绿肥改变红壤稻田土壤微生物生物量特性[J]. *土壤学报*, 2015, 52(4): 902–910.
- [65] Sekiguchi H, Kushida A, Takenaka S. Effects of cattle manure and green manure on the microbial community structure in upland soil determined by denaturing gradient gel electrophoresis[J]. *Microbes and Environments*, 2007, 22(4): 327–335.
- [66] 刘国顺, 罗贞宝, 王岩, 等. 绿肥翻压对烟田土壤理化性状及土壤微生物量的影响[J]. *水土保持学报*, 2006, 20(1): 95–98.
- [67] 兰延, 黄国勤, 杨滨娟, 等. 稻田绿肥轮作提高土壤养分增加有机碳库[J]. *农业工程学报*, 2014, 30(13): 146–152.
- [68] Sharma A R, Behera U K. Nitrogen contribution through *Sesbania* green manure and dual-purpose legumes in maize-wheat cropping system: agronomic and economic considerations[J]. *Plant and Soil*, 2009, 325(1/2): 289–304.

韩 晗,李雪敏,王 爽,等. 噬菌体作抗菌剂使用的安全性评价研究进展[J]. 江苏农业科学,2017,45(22):18-23.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.22.005

噬菌体作抗菌剂使用的安全性评价研究进展

韩 晗^{1,2}, 李雪敏¹, 王 爽¹, 张体瑶¹, 姜金仲¹, 王 冉²

(1. 贵州师范学院贵州省生物资源开发利用特色重点实验室, 贵州贵阳 550018;

2. 江苏省农业科学院省部共建国家重点实验室培育基地/江苏省食品质量安全重点实验室, 江苏南京 210014)

摘要:噬菌体因其病毒本质,作抗菌剂使用时其安全性常倍受质疑,为探究与论证噬菌体的安全性,综述了近年来噬菌体相关安全性评价的研究结果。以往研究中,无论是动物试验,还是人体临床试验,均证实噬菌体不会对机体产生明显的副作用,而最新的研究揭示了人体内源性噬菌体的存在及其可能的益生作用。噬菌体的应用被认为安全性较高,对于噬菌体的传统认知,可能将被颠覆与更新,不过仍有必要深入开展更为系统的研究,以及从分子水平上探讨噬菌体对人体细胞可能产生的影响。

关键词:噬菌体;噬菌体治疗;安全性评价;毒理性;内源性噬菌体;抗菌剂;动物试验;人体临床试验

中图分类号: S852.65 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2017)22-0018-06

致病菌抗生素耐药性问题日趋严重,已使现代医学界与兽医学界面临巨大的挑战^[1]。许多研究均表明,无论是临床相关致病菌,还是动物源性致病菌,大多已对常用抗生素普遍耐药,而许多食源性致病菌也表现出较为严重的耐药性^[2-4]。因此,研发出抗生素替代物及能有效针对食品高危致病细菌性

污染的抗菌剂尤为迫切。

噬菌体是细菌的天然克星,其本质为一类细菌病毒,可感染并裂解对应的宿主细菌,从而具有用作抗菌剂的可行性^[5-7]。近年来,在现代医学与兽医学领域,噬菌体用于治疗使用,尤其对治疗抗生素难治性感染,已彰显出巨大潜力^[8-9]。在食品工业中,噬菌体作抗菌剂使用,尤其对防控如大肠杆菌 O157、沙门氏菌、李斯特菌等高危致病菌造成的食品污染,也展现出巨大潜力^[10]。因此,噬菌体极有潜力被开发成为一种高效的治疗剂或食品抗菌剂。

然而,由于病毒的本质,噬菌体常呈现出较为负面的公众印象。其用作抗菌剂使用的安全性始终遭受部分学者质疑。若无法有力地论证它的安全性,将对日后相关研究获取基金的资助与进一步开展造成极大障碍。因此,为探究与论证噬

收稿日期:2016-05-29

基金项目:国家自然科学基金(编号:31402234);贵州省学位办项目(编号:2011231)。

作者简介:韩 晗(1987—),男,贵州贵阳人,硕士,讲师,研究方向为食源性病原菌的监测与防控。E-mail:teacherhann@126.com。

通信作者:王 冉,博士,研究员,研究方向为食源性病原菌的监测与防控。E-mail:wanran2001@126.com。

[69]刘立生,徐明岗,张 璐,等. 长期种植绿肥稻田土壤颗粒有机碳演变特征[J]. 植物营养与肥料学报,2015,21(6):1439-1446.

[70]王 莉,王 鑫,余喜初,等. 长期绿肥还田对江南稻田系统生产力及抗逆性的影响[J]. 中国水稻科学,2012,26(1):92-100.

[71]彭晚霞,宋同清,肖润林,等. 覆盖与间作对亚热带丘陵茶园土壤水分供应的调控效果[J]. 水土保持学报,2005,19(6):97-101,125.

[72]Thorup-Kristensen K, Dresbøll D B, Kristensen H L. Crop yield, root growth, and nutrient in a conventional and three organic cropping systems with different levels of external inputs and N recycling through fertility building crops[J]. European Journal of Agronomy, 2012, 37(1):66-82.

[73]Dawe D, Dobermann A, Ladha J K, et al. Do organic amendments improve yield trends and profitability in intensive rice systems?[J]. Field Crops Research, 2003, 83(2):191-213.

[74]Yadav R L, Dwivedi B S, et al. Yield trends, and changes in soil organic C and available NPK in along-term rice-wheat system under integrated use of manures and fertilizers[J]. Field Crops Research, 2000, 68(3):219-246.

[75]Xie Z J, Tu S X, Shah F, et al. Substitution of fertilizer-N by green

manure improves the sustainability of yield in double-rice cropping system in South China[J]. Field Crops Research, 2016, 188:142-149.

[76]张久东,包兴国,王 婷,等. 增施绿肥与降低氮肥对小麦产量和土壤肥力的影响[J]. 核农学报,2011,25(5):998-1003.

[77]杨 璐,曹卫东,白金顺,等. 种植翻压二月兰配施化肥对春玉米养分吸收利用的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2013,19(4):799-807.

[78]李子双,廉晓娟,王 薇,等. 我国绿肥的研究进展[J]. 草业科学,2013,30(7):1135-1140.

[79]万水霞,朱宏斌,唐 杉,等. 紫云英与化肥配施对安徽沿江双季稻区土壤生物学特性的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2015,21(2):387-395.

[80]高菊生,曹卫东,李冬初,等. 长期双季稻绿肥轮作对水稻产量及稻田土壤有机质的影响[J]. 生态学报,2011,31(16):4542-4548.

[81]李燕青,孙文彦,许建新,等. 黄淮海地区绿肥与化肥配施对棉花生长和肥料利用率的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2012,18(6):1397-1403.

[82]刘 国,王树林,沙富云,等. 长期绿肥还田对烤烟产质量及土壤改良的影响[J]. 中国农学通报,2013,29(4):173-177.