

有机肥对大豆生产效应研究进展

张成兰, 刘春增*, 李本银, 景新新 (河南省农业科学院植物营养与资源环境研究所, 河南郑州 450002)

摘要 综述了有机肥在改善大豆农艺性状、提高产量和品质、改善大豆土壤理化性状、提高土壤养分、增加土壤酶活性及土壤微生物活性等方面的研究进展, 以期在大豆生产中合理、高效施用有机肥提供理论依据, 以达到既能提高大豆产量和品质, 又能培肥土壤的效果, 实现大豆产业的可持续发展。

关键词 大豆; 有机肥; 产量和品质; 培肥土壤

中图分类号 S14 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2018)18-0025-04

Research Progress on the Effect of Organic Fertilizer on Soybean Production

ZHANG Cheng-lan, LIU Chun-zeng, LI Ben-yin et al (Institute of Plant Nutrition, Agricultural Resources and Environmental Sciences, Henan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou, Henan 450002)

Abstract The effect of organic fertilizer on increasing the agronomic traits, yield and quality of soybean, as well as improving the physical and chemical properties, nutrient, enzyme activity and microbial activity of soils were reviewed. The study provides the evidence for reasonable and highly efficient using organic fertilizer in soybean production, in order to both increasing the yield and quality of soybean, and fertilizing soils to realize the sustainable development of soybean production.

Key words Soybean; Organic fertilizer; Yield and quality; Fertilizer soil

大豆原产于我国, 已有 4 700 年的栽培历史, 是我国主要的油料和粮食作物之一, 集中种植于东北三省、内蒙古、山东、河南等地区, 目前年产量 1 100 万 t。然而近年来, 进口大豆因其“质优价廉”的特点, 对我国大豆生产造成了巨大冲击。因此, 如何促进我国大豆提质增效, 应对国际市场, 越来越受到研究者的重视^[1]。

施肥是大豆生产的重要环节, 直接影响大豆产量及品质的提高, 但盲目过量的施肥不仅导致肥料利用率降低、土壤板结、河流及地下水污染等一系列问题, 更会造成大豆品质和生产效益降低。因此, 如何推进大豆产业与生产环境的协同发展, 已成为当前大豆生产中亟待解决的问题。有机肥含有丰富的有机酸、腐殖质等物质, 不仅能够提高肥料利用率, 提高大豆产量, 改善品质^[2], 还能改善土壤结构, 培肥土壤, 保护生态环境^[3], 在促进大豆产业可持续发展上具有潜在的研究和应用价值。笔者通过综述前人的研究成果, 从有机肥对大豆植株效应(农艺性状、品质、产量)及土壤效应(肥力、酶活性、微生物)等方面分析有机肥对我国大豆生产效应的影响, 以期为大豆产业可持续发展提供借鉴。

1 有机肥对大豆植株效应的影响

大豆不同于其他粮食作物, 其生长发育过程中对氮、磷、钾、钙、镁等元素的需求量较高。且大豆自身具有固氮作用, 能将空气中氮转化成被植物吸收利用的铵态氮, 研究表明, 大豆通过共生固氮作用能为其生长提供 40%~60% 氮^[4]。在大豆生产中施用有机肥, 不仅能补充土壤中大豆生长发育所需要的多种营养元素, 还能促进大豆根瘤菌繁殖和根瘤的形成, 提高大豆固氮能力, 减少氮素的施用。

1.1 农艺性状 施用有机肥能有效改善大豆的农艺性状。有机肥施入土壤后会促进大豆对水分和矿质离子的吸收和运输, 通过水分和养分的高效利用改善大豆物理环境, 从而增加大豆株高、荚数, 提高大豆根系活力及生长速度, 增加大豆地上部干物质的积累^[5]。生物有机肥是一种新型的有机肥料, 具有高效、无害、无污染等特点, 施用生物有机肥不仅能增加大豆茎粗、根数、根长及根瘤菌数量和质量^[6], 还能促进大豆根系结瘤, 提高大豆固氮能力^[7], 增加大豆植株中氮含量, 改善大豆氮营养。有机无机配施是农业生产中较常用的施肥方式之一, 氮磷钾化肥与有机肥配施能促进大豆茎、叶、豆荚等生长^[8], 提高大豆植株氮积累量(即植株干生物量与养分含量的乘积)及氮利用率, 在盛花期增施有机肥, 还能提高大豆根长密度和根鲜重^[9-10]。此外, 有机肥对大豆生长发育的改善效果受肥料配施比例影响较大, 朱宝国等^[1]研究表明, 有机肥与不同比例化肥配施均能提高大豆根瘤数, 以有机肥和化肥各施用当地常规施肥量的 50% 效果最佳。沼肥也是一种良好的有机肥料, 沼肥与氮磷钾化肥配施能增加大豆株高、茎粗、叶面积、根瘤菌数^[11]。张玉凤等^[12]研究表明与常规施肥相比, 20% 沼渣+80% 化肥、30% 沼渣+70% 化肥处理的大豆氮肥利用率分别提高了 3.9%、69.61%, 磷肥利用率分别提高了 8.60%、23.39%, 说明沼渣与化肥配施可减少 20%~30% 化肥施用量。

1.2 产量 大豆产量主要由大豆株荚数、荚粒数、百粒重等指标决定^[13]。研究表明, 施用有机肥能显著提高大豆产量^[14-15]。有机肥增产效果受多种因素的影响, 如有机肥种类、施肥量及配施比例等。朱宝国等^[1]研究表明, 有机肥与化肥不同比例混合配施, 能不同程度地提高大豆产量, 以有机肥和化肥各施用当地常规施肥量的 50% 增产效果最为显著, 但当有机肥用量超过当地常规施用量的 50%、100% 时, 增产效果并不显著。李鸣雷等^[16]研究表明, 有机无机复混肥对春播大豆的增产效果显著高于生物有机肥, 主要体现在

基金项目 公益性行业科研专项(201103005); 国家农作物种质资源平台项目(2012019); 作物种质资源保护和利用项目(NB2013-2130135-34)。

作者简介 张成兰(1990—), 女, 河南项城人, 硕士, 从事植物营养与施肥研究。* 通讯作者, 研究员, 从事绿肥利用评价、循环农业、清洁生产等研究。

收稿日期 2018-03-02; **修回日期** 2018-03-16

大豆单株荚数、单株粒数、百粒重、单株粒重等指标。可见有机肥施用后可通过影响产量构成因子,提高大豆产量,原因可能在于有机肥施入土壤后能够分解释放出有机酸和部分微量元素,其中有机酸可溶解土壤中部分难溶性磷、钾,提高磷、钾有效性,而微量元素如硼等可直接影响大豆生殖生长,从而促进大豆对养分的吸收和籽粒发育,提高大豆产量^[17]。

1.3 品质 有机肥对大豆品质的影响主要体现在大豆籽粒蛋白质和脂肪含量方面^[18]。大豆中蛋白质含量占总量的40%左右,脂肪含量占20%左右。朱宝国等^[1]研究表明,有机肥单施或与化肥配施能提高大豆蛋白质含量,降低脂肪含量,且随着有机肥施用比例的增加,蛋白质含量表现为不同程度的增加,脂肪含量相应下降,蛋白质和脂肪总量呈增加趋势,但当有机肥用量达750 kg/hm²后,再增加用量对蛋白质和脂肪含量影响不明显。金平^[19]研究也得出相似结论,同时还指出施用有机肥会影响大豆蛋白质氨基酸的组成,必需氨基酸含量提高了1.28%,半必需氨基酸提高了0.53%。薛红^[20]也提出增施有机肥不利于大豆脂肪的形成,这主要是因为土壤中有有机肥微生物的代谢活动能够活化根部的营养物质,增加大豆对氮营养的吸收,从而提高大豆中蛋白质含量,而有机肥分解过程中会释放出大量热量,不利于脂肪形成,一定程度上降低了脂肪含量。李鸣雷等^[16]却提出施用生物有机肥及有机无机复混肥,能显著增加大豆蛋白质含量、脂肪含量及蛋脂总量,这可能与施用不同类型有机肥有关。同时Ray等^[21]对大豆蛋白质与脂肪含量间的负相关关系进行了研究,结果发现这种负相关关系不受施氮量的影响,且大豆籽粒蛋白质与产量之间呈显著相关性,而脂肪含量与大豆产量之间相关性不显著。

1.4 病害 大豆病害主要有根腐病、疫霉病、红冠腐病等,严重影响大豆产量和品质。研究显示,有机肥能有效减缓大豆病害的发生^[22]。主要是有机肥施入土壤后,其中的有机盐类可直接抑制病原菌生长,有机肥在降解过程中还会释放有毒物质抑制病原菌,从而抑制大豆土传病害的发生,且施用有机肥能调控土壤微生物结构,促进有益微生物的生长,增加土壤生态系统的稳定性和抑病性。对于连作大豆,施用有机肥能降低根腐病的发病程度^[22]。张红骥等^[23]研究发现,鸡粪有机肥与无机肥配施较不施肥处理大豆根腐病发病级数降低了26.28%。张静等^[24]指出生物有机肥能有效防治大豆红冠腐病,收获时其防治效果达83.02%,主要是生物有机肥中的有益微生物及代谢产物在一定程度上抑制了柱孢菌的生长。刘怀阿等^[25]研究发现生物有机肥能抑制大豆疫霉根腐病的发生,与对照相比,其病害发生率下降了51%~88%。

2 有机肥对大豆土壤效应的影响

土壤是大豆生长发育所需营养物质的来源,土壤质量将直接影响大豆的生产状况。有机肥作为培肥土壤的一种重要措施,不仅能活化大豆土壤中难溶性养分,还能提高土壤生物学活性,极大地改善土壤理化性状,提高土壤肥力。

2.1 土壤理化性状 土壤理化性状是反映土壤质量的重要

指标,主要包括土壤容重、土壤含水量、土壤孔隙度、土壤团聚状况等,土壤容重越小,土壤越疏松,表明土壤结构越好。有机肥入土分解会产生胡敏酸等物质,使土壤胶结成团聚体,疏松土壤结构,降低土壤容重。有机肥能调节土壤水分,维持土壤酸碱平衡^[3]。长期施用化肥会导致大豆土壤酸化,pH降低,而长期施用有机肥,对于重茬大豆土壤pH并无明显变化,且有机肥能增加大豆土壤中0.5~2.0 mm粒径团聚体含量及大于0.01 mm土壤微团聚体含量,减少土壤中小于0.001 mm微团聚体含量^[26]。氮磷钾与有机肥配施能显著降低土壤渗透阻力,增加土壤导水率及土壤水稳性团聚体的平均质量直径^[10],与单施化肥相比,有机肥能提高大豆土壤含水率、土壤团聚体平均直径,降低土壤容重,改善大豆土壤理化性状^[27]。Hati等^[28]研究发现,氮磷钾配施有机肥较不施肥处理显著提高了大豆土壤水稳性团聚体含量,降低了0~7.5 cm土层土壤容重,而对22.5~30.0 cm土层土壤容重影响较小,说明施肥对耕层土壤影响较大。沼渣与化肥配施也能有效改善大豆土壤理化性状,主要体现在降低土壤容重、提高土壤总孔隙度、提高田间持水量等方面^[29]。刘杰等^[30]通过研究大豆根际环境发现,有机无机复混肥能提高土壤pH和大豆固氮菌的活性,进而改善土壤理化性质。

2.2 土壤养分 土壤养分是评价土壤肥力最直接的指标,有机肥中含有多种营养元素,为大豆的生长发育提供所需的氮、磷、钾、钙、镁、铁、锰等养分。有机肥施入土壤后不仅能提高大豆土壤有机质含量,还能增强大豆土壤对氮的供给,提高氮利用率,减少氮流失^[31],有机肥还能促进无机磷向有效态磷转化,改善大豆土壤供磷水平^[32]。且有机肥能促进速效氮、速效钾等速效养分的释放^[30]。研究表明,施用有机肥或有机肥配施化肥能提高大豆土壤中全氮、速效磷、速效钾等养分含量^[29,33],且有研究结果显示沼渣还可以抑制大豆反硝化过程,减少氮的损失。张玉凤等^[12]研究表明,施用沼肥能提高大豆土壤有机质含量及0~20 cm土层土壤硝态氮和铵态氮含量,不论是沼肥单施还是与化肥配施,均可使20~80 cm土层土壤硝态氮和铵态氮含量降低15.98%~61.56%,从而减少了氮在大豆土壤剖面的流失,缓解农田面源污染。

2.3 土壤酶活性 土壤酶能促进土壤中一系列生化反应和物质代谢,改善土壤质量^[34-35]。研究大豆土壤根际酶活性能揭示土壤生物活性的变化规律,反映土壤肥力变化特征^[36]。其中土壤脲酶与土壤中氮代谢密切相关,能促进土壤中各类含氮有机中间产物转化成有效态氮,为大豆生长发育提供氮源;土壤磷酸酶能催化土壤中有机磷酸酯类物质转化成易被植物吸收利用的无机磷酸盐;土壤过氧化氢酶则能催化过氧化氢分解成水和氧气,解除过氧化氢对大豆根系的毒害作用;土壤蔗糖转化酶参与土壤中碳水化合物的转化与循环,与土壤有机质、微生物数量及呼吸强度相关^[37]。研究表明,施用有机肥能提高大豆根际土壤酶活性,主要是施入的有机肥能为土壤酶提供更多、更丰富的酶促基质,且有机肥能调节土壤碳氮比,促进土壤微生物生长,改善土壤理化性质,提高土壤酶活性^[3]。不同有机肥对大豆土壤酶活性的影响大

致相同。施用牛粪有机肥能提高大豆土壤中过氧化氢酶、脲酶、蔗糖转化酶和磷酸酶的活性^[26]。Saha等^[38]提出施用厩肥直接或间接地影响大豆土壤酶活性,无机肥与厩肥配施能显著提高大豆土壤脱氢酶、酸性和碱性磷酸酶、纤维素酶和蛋白酶活性。在大豆不同生育期,有机无机复混肥能显著提高大豆土壤过氧化氢酶、脲酶活性,且随着生育期的推移,土壤酶活性呈先升高后降低的趋势^[39],这可能受不同生育时期根系释放和残根分解的酚酸等物质数量和种类的影响^[40]。谷岩等^[41]指出单施有机肥对大豆土壤脲酶活性影响不明显,有机无机配施则能显著提高土壤脲酶活性。这与马星竹等^[36]提出的长期有机肥配施化肥能提高大豆黑土脲酶活性的结果相似,同时还指出酶活性与土壤有机质、全氮、全磷及速效磷含量之间呈极显著正相关性,说明酶活性在一定程度上反映了土壤肥力状况。

2.4 土壤微生物 土壤微生物是土壤生态系统中最活跃的部分,参与土壤中碳、氮、磷等营养元素的转化与循环,与土壤肥力密切相关^[42-44]。有机肥能增加大豆根际有益微生物数量,促进土壤中有益微生物的繁殖,从而抑制病菌生长,减轻有害菌对大豆根部的危害^[45],马坤明等^[46]也得出相似的结论。大豆不同生育期,土壤微生物数量也会发生一定的变化,在大豆整个生育期内,施用有机肥可明显增加土壤中细菌、真菌及放线菌数量^[47-48],且土壤细菌数量在不同生育期的动态变化趋势与土壤微生物总数动态变化趋势一致,有机无机配施处理的土壤微生物总数和细菌总数大于单施化肥处理,并在结荚期达到最大,成熟期又明显下降,而长期施用有机肥处理的放线菌数量在整个生育期内变化并不明显^[49]。关大伟等^[50]利用 BOX-PCR、IGS-PCR-RFLP 和 16S rDNA 基因序列分析法,研究了长期施肥对黑土大豆根瘤菌群体结构和多样性的影响,结果发现氮肥与有机肥配施较单施氮肥处理提高了大豆根瘤菌的数量,缓解了氮肥对根瘤菌多样性的抑制作用。土壤微生物量表示土壤中微生物的总量,是表征土壤中物质循环和能量流动的重要指标^[42,51-52]。施用有机肥能提高大豆土壤根际微生物量碳氮含量,主要是有机肥的施入大量补充了土壤中碳源,为土壤中微生物提供了更多的能源物质,从而促进了土壤微生物的生长繁殖^[41]。单施有机肥或有机肥与氮磷钾等肥料配合施用,可明显提高大豆土壤微生物量碳氮含量,且在花期含量最高,鼓粒期降至最低,成熟期含量又增加,且不同施肥处理的土壤微生物量与大豆产量呈显著正相关($r=0.9579, n=24$)^[33,52-53]。

3 展望

有机肥的施用对大豆生产具有重要作用,直接施用有机肥或使用有机肥替代部分化肥配施,不仅可以减少化肥和农药的使用,降低大豆生产成本,提高品质和产量,还能提高土壤养分含量,改善土壤理化性质和土壤生态环境。但在大豆实际生产中还需注意:①有机肥种类繁多,不同有机肥其养分含量、碳氮比、功能菌的含量及种类等均不同,生产中要综合考虑大豆品种、有机肥种类、土壤类型、气候条件等因素因

地制宜地施用有机肥,以促进大豆生长,改善和维持土壤地力;②有机肥料与化肥配施更能有效促进大豆产量和品质的提高及土壤肥力性状和土壤生态环境的改善,因此在生产中要注重有机肥与化肥的配合施用,同时注意肥料配施的比例,以有效促进大豆的生长发育及土壤培肥。

目前关于大豆施用有机肥的研究较多,从发展趋势看,根据大豆的需肥特性开发研究大豆专用有机肥及对大豆病虫害具有防治效果的新型生物有机肥仍是未来大豆有机肥研究的重点,同时进一步加大大豆有机肥对土壤生态效应的研究,缓解施肥给环境带来的压力,以促进大豆产业的可持续发展。

参考文献

- [1] 朱宝国,于忠和,王因因,等.有机肥和化肥不同比例配施对大豆产量和品质的影响[J].大豆科学,2010,29(1):97-100.
- [2] 刘杰,张颖,曾宪锋,等.有机-无机复混肥对大豆产量和品质的影响[J].大豆通报,2002(1):10,14.
- [3] 邹原东,范继红.有机肥施用对土壤肥力影响的研究进展[J].中国农学通报,2013,29(3):12-16.
- [4] 迟超.大豆高效施肥技术研究进展[J].现代化农业,2013(10):9-12.
- [5] 丁娇,韩晓增,邹文秀,等.长期施肥对大豆生长状况及产量的影响[J].大豆科学,2012,31(5):778-783.
- [6] 孙伟,樊雪梅.生物有机肥料对大豆生育性状和产量的影响[J].黑龙江农业科学,2009(5):63-64.
- [7] 路宪春,于文清,刘文志,等.生物有机肥与化肥配施对大豆生物性状及产量的影响[J].现代化农业,2014(1):17-19.
- [8] MANDAL K G, HATI K M, MISRA A K. Biomass yield and energy analysis of soybean production in relation to fertilizer-NPK and organic manure[J]. Biomass & bioenergy, 2009, 33(12): 1670-1679.
- [9] 宋北光,郭婷,谢晓伟,等.商品有机肥和无机肥配施对大豆氮素积累及利用效率的影响[J].大豆科技,2016(3):5-11.
- [10] BANDYOPADHYAY K K, MISRA A K, GHOSH P K, et al. Effect of integrated use of farmyard manure and chemical fertilizers on soil physical properties and productivity of soybean[J]. Soil & tillage research, 2010, 110(1):115-125.
- [11] 王家军,刘杰,张瑞萍,等.沼渣与化肥配合施用对大豆生长发育、产量和品质的影响[J].大豆科学,2012,31(1):96-98.
- [12] 张玉凤,董亮,李彦,等.沼肥对大豆产量、品质、养分和土壤化学性质的影响[J].水土保持学报,2011,25(4):135-138,143.
- [13] 郎漫,刘元英,彭显龙,等.不同氮肥用量下镁对大豆碳氮代谢的影响[J].大豆科学,2006,25(1):48-52,57.
- [14] REDDY D D, RAO A S, REDDY K S, et al. Yield sustainability and phosphorus utilization in soybean-wheat system on Vertisols in response to integrated use of manure and fertilizer phosphorus[J]. Field crops research, 1999, 62(2/3):181-190.
- [15] 金宏鑫,裴占江,李淑芹,等.污泥生物有机肥对大豆产量和氮磷吸收的影响[J].作物杂志,2012(1):92-95.
- [16] 李鸣雷,谷洁,高华,等.不同有机肥对大豆植株性状、品质和产量的影响[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2007,35(9):67-72.
- [17] 姜佰文,胡燕燕,邓宏志,等.商品有机肥与无机肥配施对大豆品质和产量的影响[J].东北农业大学学报,2013,44(11):29-33.
- [18] MA L, LI B, HAN F X, et al. Evaluation of the chemical quality traits of soybean seeds, as related to sensory attributes of soymilk[J]. Food chemistry, 2015, 173:694-701.
- [19] 金平.施肥对大豆品质的影响[J].作物杂志,1996(6):24-25.
- [20] 薛红.增施氮、磷、钾和有机肥对大豆产量、品质的影响及经济效益分析[J].安徽农学通报,2009,15(7):109-110.
- [21] RAY J D, FRITSCHI F B, HEATHERLY L G. Large applications of fertilizer N at planting affects seed protein and oil concentration and yield in the Early Soybean Production System [J]. Field crops research, 2006, 99(1):67-74.
- [22] 台莲梅,郭永霞,范文艳,等.有机肥对连作大豆根腐病、生育及产量影响的研究[J].黑龙江八一农垦大学学报,2001,13(4):28-31.
- [23] 张红骥,孙彬,裴占江,等.有机无机复混肥对大豆根际微生物区系及幼苗生长的影响[J].大豆科学,2010,29(6):1016-1018,1023.
- [24] 张静,杨江舟,胡伟,等.生物有机肥对大豆根冠腐病及土壤酶活性的

- 影响[J].农业环境科学学报,2012,31(3):548-554.
- [25] 刘怀阿,吴洪生,李季,等.拮抗菌与有机肥配合防治大豆疫霉病害研究[J].扬州大学学报(农业与生命科学版),2014,35(1):90-94.
- [26] 塔莉.牛粪有机肥对重茬大豆生育性及土壤性质影响研究[D].长春:吉林农业大学,2012.
- [27] BHATTACHARYYA R, CHANDRA S, SINGH R D, et al. Long-term farmyard manure application effects on properties of a silty clay loam soil under irrigated wheat-soybean rotation[J]. Soil & tillage research, 2007, 94(2):386-396.
- [28] HATI K M, MANDAL K G, MISRA A K, et al. Effect of inorganic fertilizer and farmyard manure on soil physical properties, root distribution, and water-use efficiency of soybean in Vertisols of central India[J]. Bioresource technology, 2006, 97(16):2182-2188.
- [29] 王家军,刘杰,张瑞萍,等.沼渣与化肥配施对大豆土壤理化性质和土壤微生物的影响[J].安徽农业科学,2012,40(13):7763-7765.
- [30] 刘杰,王大蔚,裴占江,等.有机无机复混肥对大豆根际环境的影响[J].大豆科学,2010,29(4):730-732.
- [31] 郭颖,赵牧秋,吴蕊,等.有机肥对设施菜地土壤-植物系统硝酸盐迁移累积的影响[J].农业环境科学学报,2008,27(5):1831-1835.
- [32] 孙倩倩,王正银,赵欢,等.定位施肥对紫色菜园土壤磷素状况的影响[J].生态学报,2012,32(8):2539-2549.
- [33] BHATTACHARYYA R, KUNDU S, PRAKASH V, et al. Sustainability under combined application of mineral and organic fertilizers in a rainfed soybean-wheat system of the Indian Himalayas[J]. European journal of agronomy, 2008, 28(1):33-46.
- [34] GARCÍA-GIL J C, PLAZA C, SOLER-ROVIRA P, et al. Long-term effects of municipal solid waste compost application on soil enzyme activities and microbial biomass[J]. Soil biology & biochemistry, 2000, 32(13):1907-1913.
- [35] BURGER M, JACKSON L E. Microbial immobilization of ammonium and nitrate in relation to ammonification and nitrification rates in organic and conventional cropping systems[J]. Soil biology & biochemistry, 2003, 35(1):29-36.
- [36] 马星竹,周宝库,郝小雨.长期不同施肥条件下大豆田黑土酶活性研究[J].大豆科学,2016,35(1):96-99.
- [37] DE LA PAZ JIMENEZ M, DE LA HORRA A, PRUZZO L, et al. Soil quality: A new index based on microbiological and biochemical parameters[J]. Biology & fertility of soils, 2002, 35(4):302-306.
- [38] SAHA S, PRAKASH V, KUNDU S, et al. Soil enzymatic activity as affected by long term application of farm yard manure and mineral fertilizer under a rainfed soybean-wheat system in N-W Himalaya[J]. European journal of soil biology, 2008, 44(3):309-315.
- [39] 刘杰,王大蔚,孙彬,等.有机无机复混肥对大豆根际酶活性的影响[J].大豆科学,2010,29(3):546-548.
- [40] 谷岩,邱强,王振民,等.连作大豆根际微生物群落结构及土壤酶活性[J].中国农业科学,2012,45(19):3955-3964.
- [41] 谷岩,吴春胜,王振民,等.不同施肥处理对大豆根际土壤微生物和酶活性的影响[J].大豆科学,2010,29(6):1008-1011.
- [42] 蒋跃利,赵彤,闫浩,等.黄土丘陵区不同土地利用方式对土壤微生物量碳氮磷的影响[J].水土保持通报,2013,33(6):62-68.
- [43] MOSCATELLI M C, LAGOMARSINO A, MARINARI S, et al. Soil microbial indices as bioindicators of environmental changes in a poplar plantation[J]. Ecological indicators, 2005, 5(3):171-179.
- [44] JOERGENSEN R G, EMMERLING C. Methods for evaluating human impact on soil microorganisms based on their activity, biomass, and diversity in agricultural soils[J]. Journal of plant nutrition & soil science, 2006, 169(3):295-309.
- [45] 柴晓芳,郑伟,刘金和.施用不同有机肥对大豆根际土壤微生物数量的影响[J].磷肥与复肥,2009,24(1):86.
- [46] 马坤明,施春亮,史俊琴.不同有机肥对大豆根际土壤微生物数量的影响[J].现代化农业,2005(8):19.
- [47] 孟庆英,于忠和,贾绘彬,等.不同施肥处理对大豆根际土壤微生物及土壤肥力影响[J].大豆科学,2011,30(3):471-474.
- [48] PAN F J, MCLAUGHLIN N B, YU Q, et al. Responses of soil nematode community structure to different long-term fertilizer strategies in the soybean phase of a soybean-wheat-corn rotation[J]. European journal of soil biology, 2010, 46(2):105-111.
- [49] 李伟群,王爽,王英,等.不同施肥处理对大豆生育期内土壤微生物的影响[J].大豆科学,2007,26(6):922-925.
- [50] 关大伟,李力,姜昕,等.长期施肥对黑土大豆根瘤菌群体结构和多样性的影响[J].生物多样性,2015,23(1):68-78.
- [51] BAILEY V L, SMITH J L, BOLTON H JR. Fungal-to-bacterial ratios in soils investigated for enhanced C sequestration[J]. Soil biology and biochemistry, 2002, 34:997-1007.
- [52] 隋跃宇,焦晓光,张兴义,等.不同施肥制度对大豆生育期土壤微生物量的影响[J].土壤通报,2006,37(5):894-896.
- [53] 芦思佳,韩晓增,张迪,等.长期施肥对大豆根际微生物量碳、氮的影响[J].大豆科学,2009,28(3):495-498.

(上接第24页)

- [26] SHARMA A, ISTAMBOULIE G, HAYAT A, et al. Disposable and portable aptamer functionalized impedimetric sensor for detection of kanamycin residue in milk sample[J]. Sensors and actuators B: Chemical, 2017, 245:507-515.
- [27] HAN S R, YU J, LEE S W. *In vitro* selection of RNA aptamers that selectively bind danofloxacin[J]. Biochemical and biophysical research communications, 2014, 448(4):397-402.
- [28] POHANKA M, SKLÁDAL P. Electrochemical biosensors-principles and applications[J]. Journal of applied biomedicine, 2008, 6(2):57-64.
- [29] WANG X Z, DONG S S, GAI P P, et al. Highly sensitive homogeneous electrochemical aptasensor for antibiotic residues detection based on dual recycling amplification strategy[J]. Biosensors and bioelectronics, 2016, 82:49-54.
- [30] DANESH N M, RAMEZANI M, EMRANI A S, et al. A novel electrochemical aptasensor based on arch-shape structure of aptamer-complementary strand conjugate and exonuclease I for sensitive detection of streptomycin[J]. Biosensors and bioelectronics, 2016, 75:123-128.
- [31] QIN X L, YIN Y, YU H J, et al. A novel signal amplification strategy of an electrochemical aptasensor for kanamycin, based on thionine functionalized graphene and hierarchical nanoporous PtCu[J]. Biosensors and bioelectronics, 2016, 77:752-758.
- [32] FERREIRA G N M, DA-SILVA A C, TOMÉ B. Acoustic wave biosensors: Physical models and biological applications of quartz crystal microbalance [J]. Trends in biotechnology, 2009, 27(12):689-697.
- [33] EBARVIA B S, UBANDO I E, SEVILLA F B III. Biomimetic piezoelectric quartz crystal sensor with chloramphenicol-imprinted polymer sensing layer[J]. Talanta, 2015, 144:1260-1265.
- [34] DURMUŞ N G, LIN R L, KOZBERG M, et al. Acoustic-based biosensors [M]//Encyclopedia of microfluidics and nanofluidics. New York: Springer, 2015:28-40.
- [35] GRUHL F J, LÄNGE K. Surface acoustic wave (SAW) biosensor for rapid and label-free detection of penicillin G in milk[J]. Food analytical methods, 2014, 7(2):430-437.
- [36] ZHOU B, ZHANG J, FAN J, et al. A new sensitive method for the detection of chloramphenicol in food using time-resolved fluoroimmunoassay [J]. European food research and technology, 2015, 240(3):619-625.
- [37] PAN M F, WANG X J, WANG J P, et al. Stable and sensitive detection of sulfonamide residues in animal-derived foods using a reproducible surface plasmon resonance immunosensor[J]. Food analytical methods, 2017, 10(6):2027-2035.
- [38] GAUDIN V, HEDOU C, SOUMET C, et al. Evaluation and validation of a multi-residue method based on biochip technology for the simultaneous screening of six families of antibiotics in muscle and aquaculture products [J]. Food additives & contaminants: Part A, 2016, 33(3):403-419.
- [39] LAN L Y, YAO Y, PING J F, et al. Recent advances in nanomaterial-based biosensors for antibiotics detection [J]. Biosensors and bioelectronics, 2017, 91:504-514.
- [40] RAMEZANI M, DANESH N M, LAVAE P, et al. A selective and sensitive fluorescent aptasensor for detection of kanamycin based on catalytic recycling activity of exonuclease III and gold nanoparticles [J]. Sensors and actuators B: Chemical, 2016, 222(1):1-7.
- [41] SARI E, ÜZEK R, DUMAN M, et al. Fabrication of surface plasmon resonance nanosensor for the selective determination of erythromycin via molecular imprinted nanoparticles[J]. Talanta, 2016, 150(9):607-614.