

官秀杰,钱春荣,于洋,等.我国玉米秸秆还田现状及效应研究进展[J].江苏农业科学,2017,45(9):10-13.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.09.003

我国玉米秸秆还田现状及效应研究进展

官秀杰,钱春荣,于洋,葛选良

(黑龙江省农业科学院耕作栽培研究所/农业部东北地区作物栽培科学观测实验站,黑龙江哈尔滨 150086)

摘要:玉米秸秆还田是秸秆综合利用的一项主要措施,它不仅可以补充和平衡土壤养分,还可以有效地改善土壤结构。本文对我国玉米秸秆还田现状、玉米秸秆还田对土壤物理性状、土壤肥力和土壤生物性状的影响以及秸秆还田对玉米产量影响等方面的研究进行综述。在此基础上,提出了秸秆还田存在的问题和建议,为秸秆还田在更大范围内的应用推广提供理论参考。

关键词:玉米;秸秆还田;现状;效应;研究进展

中图分类号: S141.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2017)09-0010-04

玉米是我国第一大粮食作物,发展潜力巨大,播种面积及单产逐年上升,玉米秸秆作为其生物副产品,资源极为丰富,仅2010年玉米秸秆总生产量便超过2.2亿t^[1]。玉米秸秆作为一种具有再生能力的有机质能源,如何对其进行有效利用,对维持玉米产业的可持续发展、农田立体生态的良性循环都具有重要意义。但是,我国玉米秸秆的利用却长期处于高消耗、高污染、低产出的状态。过去玉米秸秆以作为生活燃料为主,少量用于饲养家畜,随着农村生活质量的提高,以秸秆作为生活燃料的情况已不多见,为解决大量秸秆过剩问题,多数农户选择了直接焚烧,浪费了资源,污染了环境^[2-3]。近年来,随着技术的发展,玉米秸秆的利用逐步向肥料、饲料、食用菌基料、工业原料和燃料等多个领域延伸,尤其是随着我国耕地土壤养分含量下降、理化指标变差及地下水污染等问题的出现^[4],玉米秸秆还田作为一种清洁能源补充手段得到了较大发展,成为土壤基质改良的主要手段之一,既增效又环保,对玉米产业的可持续发展起到了很好的助推作用。

1 玉米秸秆还田现状

我国的玉米秸秆资源丰富,总量常年在2亿t以上,是一

笔巨大的可再生资源,但还田工作起步较晚,技术尚有待完善,还田比例也相对较低,2010年玉米秸秆还田比例仅为17.60%^[1],与美国68%的还田比例和英国73%的还田比例相比,存在着不小的差距^[5]。从还田方式上来看,主要包括直接还田、间接还田及综合还田3种方式,受环境条件和耕作制度影响,各种植区在操作上有一定差别。

直接还田包括覆盖还田和翻压还田2种方式。我国秸秆覆盖还田技术的研究始于20世纪70年代,山西、陕西、吉林、黑龙江等省相继开展了以秸秆覆盖为主,少耕、免耕技术为辅的保护性耕作技术体系研究,方式以整株还田覆盖为主;此后,随着农艺及农机技术的革新,秸秆粉碎后覆盖还田又逐步成为主流趋势。覆盖还田方式操作简便,省时省工,优点是可以减少土壤中水分的蒸发,达到保墒的目的;秸秆腐烂后增加土壤有机质含量,优化土壤结构,促进生物循环。秸秆作为不良导体,可通过启温作用和降温作用实现对土壤温度的有效调节,缺点是不利于灌溉及影响播种。因此,覆盖还田方式只对干旱地区及北方玉米产区相对适用^[6]。我国翻压还田技术的研究始于20世纪90年代,是为解决土壤肥力日趋下降的问题而逐步发展起来的,经过多年努力,初步形成了适用于我国的翻压还田技术体系,研制出了一批相对适用的农业机械^[7-8]。目前的大体操作为通过农业机械将玉米秸秆粉碎成<10cm的茎段,均匀抛洒于地表,于秋季或春季配合化肥一同翻入土壤中压平,深度以20~30cm为宜。翻压还田操作简便,但对农业机械要求较高,优点是秸秆中的营养物质得以全部保留,分解速度得以加快,可以更加有效地改良土壤的理化性状,改善土壤的微生物环境,提高土壤的肥育能力,实

novel, vacuolar isoform[J]. *Planta*, 2011, 234(4): 799-813.

[53] Ravet K, Danford F L, Dihle A, et al. Spatiotemporal analysis of copper homeostasis in *Populus trichocarpa* reveals an integrated molecular remodeling for a preferential allocation of copper to plastocyanin in the chloroplasts of developing leaves [J]. *Plant Physiology*, 2011, 157(3): 1300-1312.

[54] 崔秀娜,袁丽钗,苏晓娟,等. miR1444a参与毛果杨对锌胁迫的响应[J]. *中国科学:生命科学*, 2012, 42(10): 850-860.

[55] Quinn J M, Barraco P, Eriksson M, et al. Coordinate copper- and

oxygen-responsive *Cyc6* and *Cpx1* expression in *Chlamydomonas* is mediated by the same element [J]. *The Journal of Biological Chemistry*, 2000, 275(9): 6080-6089.

[56] Yamasaki H, Hayashi M, Fukazawa M, et al. SQUAMOSA promoter binding protein-like7 is a central regulator for copper homeostasis in *Arabidopsis* [J]. *The Plant Cell*, 2009, 21(1): 347-361.

[57] 冷翔鹏,孙欣,房经费,等. 波尔多液作用机理及其在果树生产上的应用与相应药害研究进展[J]. *江苏农业科学*, 2012, 40(2): 97-99.

收稿日期:2016-02-01

基金项目:国家玉米产业技术体系(编号:CARS-02-40);公益性行业(农业)科研专项(编号:201303125-07)。

作者简介:官秀杰(1978—),女,吉林松原人,博士研究生,助理研究员,主要研究方向为玉米耕作栽培。E-mail: gongxiu2546@sina.com。

现作物增产,缺点是能耗偏大及易受地域条件限制。总体而言,翻压还田优势较强,可操作性好,目前已成为我国主要的秸秆还田方式。

间接还田方式包括堆沤还田和过腹还田2种方式。堆沤还田技术如应用合理,可有效缓解我国有机肥短缺的情况,同时也将对改良土壤、培肥地力起到积极的促进作用。通常的做法是在运输方便的地点挖1个深坑,将玉米秸秆粉碎成10 cm左右的茎段,放入坑中,洒入适量的促腐剂,用塑料薄膜覆盖,填土压实,借助促腐剂产生的大量纤维素酶,将秸秆迅速沤制成有机肥^[9]。堆沤温度应控制在50~60℃为宜,湿度应控制在60%~70%为宜。堆沤还田的优点在于可形成大量的腐熟肥料,利于土壤理化性状的改良,缺点在于用工量大,技术难度高,在推广上困难较大,目前应用并不广泛。过腹还田技术就是把秸秆作为饲料,在牛、马、猪等家畜腹中经消化吸收一部分营养,其余变成粪便,施入土壤,培肥地力,改善理化性状。而秸秆被动物吸收的糖类、蛋白质等营养部分可转化为肉、奶等产品,被人类广泛利用。这种还田方式科学、环保,应大力提倡,但目前的农业生产以机械化为主,家畜数量已大量减少,加上其他的生产现实问题,应用并不广泛。总体而言,间接还田受技术水平、现实条件等问题困扰,发展难度较大,应用面积相对较小。

综合还田方式主要是将直接还田和间接还田结合在一起的系列还田方式,如果能寻找到2种还田方式的最佳契合点,将大幅提升还田效率,扩大还田规模。基于此,李少昆等^[10]、颜丽等^[11]分别进行了相关研究。综合来看,目前应用较广泛的操作是将玉米秸秆粉碎成<10 cm的茎段,均匀覆盖于地表,趁秸秆青绿时,将适量促腐剂与氮肥的混合物均匀撒在秸秆上,及时深翻入土,深度以20~30 cm为宜,使各类物质混合均匀,然后压平,以防止墒情流失。我国玉米播种面积大,各生态区气候迥异,耕作制度差别明显,各地区适宜的秸秆还田方式也不同,还需有针对性地进行本土化研究。

2 玉米秸秆还田后的综合效应

2.1 玉米秸秆还田对土壤物理性状的影响

土壤容重与土壤的水、气、热状况及养分调节关系密切,对植物的根系伸展及生长发育影响较大^[12]。土壤孔隙度与土壤结构及腐殖质含量有关,对水、肥、热、气等肥力因素的变化与供应影响较大。玉米秸秆还田可有效降低土壤容重,增加土壤孔隙度^[13-14],且该效应与秸秆还田量呈正相关关系。Bescansa等研究表明,经过连续3年的玉米秸秆还田后,处理地土壤容重比对照降低0.10~0.20 g/cm³^[15]。邓智惠等研究表明,深松、旋耕条件下,秸秆连年还田与对照相比,土壤容重分别降低5.64%、7.40%,土壤孔隙度分别增加6.89%、5.37%^[16]。慕平等研究表明,连续3、6、9年秸秆还田地块20~50 cm耕层的土壤容重分别较对照降低6.40%、11.60%、15.03%^[17],证明该方式能有效促进秸秆纤维腐解残体与土壤团粒结合,起到降低容重、增加土壤孔隙度的作用。但是,秸秆还田后土壤容重和土壤孔隙度的变化是有一定适用范围的,耕层太浅或太深,改良效果均不明显。

多数研究表明,秸秆还田在提高土壤水分利用率方面具有积极作用,在提高土壤含水量、土壤饱和水传导能力和水分

渗透量方面增效显著。曲学勇等研究表明,玉米秸秆还田后,不同深度的土壤均具有较高的含水量^[18]。林蔚刚等研究表明,在玉米秸秆覆盖还田条件下,免耕后土壤含水量在0~10 cm、10~20 cm的深度可分别较对照增加16.00%、35.30%^[19]。而赵秀梅等研究表明,秸秆还田条件下,10~15 cm耕层的土壤含水量表现为秸秆连年还田>秸秆隔年还田>无秸秆还田,而在20~25 cm和30~35 cm耕层差异不显著^[14]。于晓蕾等研究表明,秸秆覆盖还田能有效降低水分蒸发量,其效果与覆盖量呈正相关^[20]。李全起等研究表明,秸秆覆盖还田后,有利于灌溉水的渗入,渗入速度比对照快33.33%^[21]。秸秆还田后,土壤保水保墒能力增强,可能与蒸发量降低、土壤剖面中毛细管连续性被破坏及土壤与大气接触面减小等因素有直接关系。

秸秆还田后,利于水稳性土壤团粒结构的形成,因为可直接影响土壤微生物的生长与繁殖,增强土壤团聚体的稳定性。形成的腐殖酸可与土壤中的钙、镁结合,形成水稳性的土壤团粒结构^[22]。蔡晓布等研究表明,秸秆还田后粒径大于0.25 mm和1~3 mm范围内的水稳性土壤团粒结构大幅度增加^[23]。Malhi等研究表明,秸秆还田后机械稳定性土壤团粒结构的平均质量直径得到迅速增加^[24]。上述结果表明,秸秆还田可将土壤中的微小颗粒凝聚成较大的微团聚体,从而改善土壤结构,提高土壤稳定性。此外,Raimbault等研究还表明,由于玉米秸秆中酚类物质含量偏高,更易于土壤团聚体的形成^[25]。

2.2 玉米秸秆还田对土壤肥力的影响

玉米秸秆的主要成分是纤维素和木质素,在土壤微生物的作用下可部分转化为土壤有机质,因此还田后可有效提高土壤有机质的含量。官亮等研究表明,玉米秸秆还田3年后,各处理有机质含量提升幅度介于7.13%~9.44%之间,而不施肥、单施化肥处理有机质含量分别降低1.15%、0.92 g/kg,差异达到显著水平^[13]。颜丽等研究表明,6种不同秸秆还田方式的土壤有机质含量介于17.00~17.50 g/kg之间,易氧化有机质含量介于8.20~9.10 g/kg之间,有机无机复合度介于86.5%~90.4%之间^[11],其中秋施玉米秸秆不调氮、加微生物促腐剂处理效果最好,可有效提高土壤中易氧化有机质含量,有效降低土壤中有机无机复合度。马永良等研究表明,秸秆翻压还田后土壤有机质含量随年份递增,年均递增0.02%~0.04%^[26]。赵凡等研究表明,秸秆浅翻还田后土壤有机质含量随还田年限的延长呈三次曲线递增趋势,年均增长3.84%^[27]。王应等研究表明,玉米秸秆还田3、6、9年后,土壤有机质含量分别增加0.05%~0.09%、0.06%~0.10%、0.09%~0.12%,趋势明显^[28]。

秸秆还田可活化土壤中氮、磷、钾养分,提高土壤肥力。新鲜玉米秸秆中有机质含量约为15.0%,氮、磷、钾含量分别约为0.6%、0.3%、2.3%,同时还含有钙、镁、硅等作物生长所必需的微量元素。赵聚宝研究表明,秸秆还田2年后,土壤全氮含量增加11.00%,全磷含量增加10.00%,水解氮含量增加41.00%^[29]。张电学等研究表明,过腹还田对于维持和提高土壤氮素含量意义重大,而直接还田则能够补充和提高土壤磷素和钾素含量^[30]。颜丽等研究表明,秋施玉米秸秆处理在提高土壤中各种形态氮素含量方面效果很好,在提高土

壤中有机磷、有效磷和活性有机磷含量方面效果较好,在提高土壤有效钾、缓效钾、水溶性硫和可矿化硫含量方面效果很好,春季腐熟玉米秸秆处理各方面效果均较差^[11]。慕平等研究表明,在0~20 cm耕层内,连续秸秆还田3年、6年和9年处理,土壤碱解氮含量分别较对照增加9.40%、12.30%和20.00%,速效磷含量分别较对照增加1.30%、4.80%和10.60%,速效钾含量分别较对照增加2.40%、2.70%和4.30%^[17],说明连续秸秆还田对耕层土壤速效养分含量有一定补偿作用,且碱解氮含量的增幅大于速效磷和速效钾。

2.3 玉米秸秆还田对土壤生物性状的影响

玉米秸秆还田可改善土壤的生物性状,提高土壤的呼吸速率。李玮等研究表明,玉米秸秆还田后,土壤中的碳氮比升高,微生物含量增加,促进土壤的呼吸速率提高;同时,夏季高温促进耕层中秸秆的分解,使土壤中二氧化碳排放量得以增加^[31]。王丙文等研究表明,玉米免耕全量还田处理的土壤呼吸值比对照高37.93%,玉米常规耕作还田处理的土壤呼吸值比对照高30.72%^[32]。雷宏军等曾在黄淮海地区进行秸秆还田后二氧化碳排放量长期定位试验,证明秸秆还田量是决定耕层中二氧化碳排放通量的最主要因素^[33]。

玉米秸秆还田后,有机物质和各种养分含量得到提升,为微生物的生长与繁殖奠定了丰富的物质基础。微生物则主要通过纤维素酶的作用,将秸秆中纤维素、木质素水解为葡萄糖、短链脂肪酸等物质^[34]。强学彩等研究表明,玉米全量还田后,在0~10 cm和10~20 cm耕层中,土壤总微生物量较对照分别增加29.80%和19.80%^[35]。张星杰等研究表明,秸秆还田免耕处理条件下,玉米全生育期土壤中微生物真菌、细菌、放线菌和纤维素分解菌的数量比对照分别高67.90%、41.90%、47.10%和65.70%,且此效益受玉米发育进程影响较大^[36]。吴景贵等研究表明,玉米秸秆还田后能显著提升土壤中微生物的数量,还田50 d后,真菌、细菌和放线菌的数量比对照分别提升212.20%、54.00%和47.80%^[37],说明秸秆还田后对土壤中真菌的促进作用更大。

土壤酶主要源自土壤微生物、动植物残体及活体^[38],可代表土壤中相应生物化学反应过程的方向与程度^[39],秸秆还田后,土壤中脲酶、碱性磷酸酶、过氧化物酶活性迅速上升,这可能与秸秆本身带入大量活的微生物有关。闫慧荣等研究表明,土壤蔗糖酶、纤维素酶、脲酶、脱氢酶和荧光素二乙酸酯水解酶等5种土壤酶的活性均与玉米秸秆还田量呈极显著正相关,不同酶活性的倍增剂量在不同时间下的变化略有差异^[40]。5种土壤酶中,以荧光素二乙酸酯水解酶的活性对玉米腐解过程最为敏感。当玉米秸秆还田量为10 g/kg时,土壤总体酶活性较高。同时,玉米秸秆还田后,5种土壤酶活性间呈极显著正相关,说明其变化是彼此相关的。颜丽等研究表明,秋施玉米秸秆不调氮加微生物促腐剂条件下,土壤中过氧化氢酶、转化酶、脲酶和酸性磷酸酶的含量均有较大幅度提升^[11]。综合来看,玉米秸秆还田对土壤酶活性具有较强的促进作用。

2.4 秸秆还田对玉米产量的影响

玉米秸秆还田后,土壤的理化性状得到改善,土壤肥力得到提升,微生物数量和土壤酶活性得到提高,有利于玉米植株的生长和产量的提高。郑洪兵等研究表明,玉米秸秆各处理

与对照相比均有一定的增产效果,增产幅度介于13.30%~15.00%之间,平均增产12.90%^[41]。解文艳等研究表明,玉米秸秆还田秋施肥各处理增产效果明显,与对照相比,18年累计增产玉米籽粒9.71~15.58 t/hm²,同时减小了玉米产量在年际间的波动^[42]。慕平等研究表明,玉米秸秆连续还田3年、6年和9年后,产量分别较对照高4.50%、10.30%和15.40%,说明玉米产量与还田年限呈正相关趋势^[43]。但是,也有部分观点认为,玉米秸秆还田对产量影响不大^[11]。

3 玉米秸秆还田存在问题及建议

中国幅员辽阔,各玉米种植区气候、土壤及地理地貌等生态条件复杂多样,耕作栽培方式迥然有别,选用的玉米秸秆还田方式必然有所区别,获得的土壤改良及玉米增产效果也可能有所差别^[44],但玉米秸秆还田对土壤微环境的积极调控作用已得到普遍认同。玉米秸秆还田技术在我国起步较晚,发展并不完善,尚存在诸多问题亟待解决^[45-46]。(1)玉米秸秆粉碎不合要求,影响播种质量。部分粉碎后的玉米秸秆偏长,茎段超过10 cm,机械翻耕时田土镇压不实,影响整地质量。建议应用大型秸秆粉碎机,将秸秆粉碎成5 cm左右茎段,以使其更加均匀地与土壤混合。同时,选育与粉碎机械配套的播种机,以提高播种质量。(2)土壤大小孔隙比例失调,影响种子出芽。秸秆还田后,当季难以腐烂,易导致土壤疏松、悬空,大孔隙明显增加,墒情迅速变差,土壤与种子不能紧密接触,发芽率下降。建议合理调整玉米秸秆还田量,一般以秸秆50.00%~70.00%还田为宜,同时合理应用土壤镇压、适度深翻及适时灌溉等栽培措施。(3)碳、氮比例失调,影响幼苗生长。玉米秸秆自身碳氮比为(65~85):1,而适宜土壤微生物活动的碳氮比为(25~30):1。秸秆还田后,土壤中氮素明显缺乏,造成秸秆与土壤微生物争氮的矛盾,影响幼苗生长,出现苗黄及死苗现象。建议增施氮肥,数量以80~120 kg/hm²为宜,同时还应注意补充少量磷肥。(4)秸秆残体增加,病虫害加重。秸秆上残留有一定数量的害虫虫瘿及病原菌,直接还田后,为其休眠及繁殖提供了寄主,人为增加了初侵染源数量,增加了来年病虫害发生的风险。建议病虫害发生严重地块的秸秆不要直接还田,建议移出原田地,用作饲料或高温沤制。同时密切注意来年病虫害发生情况,适度应用化学农药进行控制。总之,秸秆还田技术既有优势,又存在明显不足,总体上是优势占主导地位,需要通过进一步的仔细研究和深入探讨,努力发扬其优势,合理弥补其不足,使这项生态栽培技术更好地为我国玉米产业的持续健康发展服务。

参考文献:

- [1]李纯燕,杨恒山,刘晶,等.玉米秸秆还田技术与效应研究进展[J].中国农学通报,2015,31(33):226-229.
- [2]马继红.玉米秸秆还田中存在的问题及解决的途径[J].河南农业,2011(7):16.
- [3]马平文.论玉米秸秆还田技术研究现状及发展趋势[J].农业科学,2014(12):78-79.
- [4]匡恩俊,迟凤琴,宿庆瑞,等.不同还田方式下玉米秸秆腐解规律的研究[J].玉米科学,2012,20(2):99-101,106.

- [5]高忠兰. 玉米秸秆还田的优势及其技术[J]. 现代农业科技, 2013(1):227.
- [6]陈盛洋. 玉米秸秆还田技术现状及未来发展[J]. 南方农业, 2015,9(33):120-121.
- [7]路世康. 玉米秸秆捡拾粉碎还田机及气吸式小麦精量播种机的设计与试验[D]. 泰安:山东农业大学,2014.
- [8]杜长征. 我国秸秆还田机械化的发展现状与思考[J]. 农机化研究,2009,31(7):234-236.
- [9]韩东. 玉米秸秆还田腐熟技术应用及效果分析[J]. 农业开发与装备,2015(1):131.
- [10]李少昆,王克如,冯聚凯,等. 玉米秸秆还田与不同耕作方式下影响小麦出苗的因素[J]. 作物学报,2006,32(3):463-465.
- [11]颜丽,宋杨,贺靖,等. 玉米秸秆还田时间和还田方式对土壤肥力和作物产量的影响[J]. 2004,35(2):143-148.
- [12]Arshad M A. Tillage and soil quality tillage practices for sustainable agriculture and environmental quality in different agroeco system [J]. Soil Tillage Res,1999,53(1):1-2.
- [13]宫亮,孙文涛,王翔,等. 玉米秸秆还田对土壤肥力的影响[J]. 玉米科学,2008,16(2):122-124.
- [14]战秀梅,彭靖,李秀龙,等. 耕作及秸秆还田方式对春玉米产量及土壤理化性状的影响[J]. 华北农学报,2014,29(3):204-209.
- [15]Bescansa P,Imaz M J, Virto I, et al. Soil water retention as affected by tillage and residue management in semiarid Spain[J]. Soil & Tillage Research,2006,87(1):19-27.
- [16]邓智慧,刘新梁,李春阳,等. 深松及秸秆还田对表层土壤物理性状及玉米产量的影响[J]. 作物杂志,2015(6):117-120.
- [17]慕平,张恩和,王汉宁,等. 连续多年秸秆还田对玉米耕层土壤理化性状及微生物量的影响[J]. 水土保持学报,2011,25(5):81-85.
- [18]曲学勇,宁堂原. 秸秆还田和品种对土壤水盐运移及小麦产量的影响[J]. 中国农学通报,2009,25(11):65-69.
- [19]林蔚刚,吴俊江,董德健,等. 初期保护性耕作和秸秆还田对土壤物理特性及大豆玉米产量的影响[J]. 大豆科学,2010,29(5):760-765.
- [20]于晓蕾,吴普特,汪有科,等. 不同秸秆覆盖量对冬小麦生理及土壤温、湿状况的影响[J]. 灌溉排水学报,2007,26(4):41-44.
- [21]李全起,陈雨海,于舜章,等. 灌溉与秸秆覆盖条件下冬小麦农田小气候特征[J]. 作物学报,2006,32(2):306-309.
- [22]贝费尔. 土壤物理学[M]. 周传槐,译. 北京:农业出版社,1983.
- [23]蔡晓布,钱成,张元,等. 西藏中部地区退化土壤秸秆还田的微生物变化特征及其影响[J]. 应用生态学报,2004,15(3):463-468.
- [24]Malhi S S,Lemke R. Tillage,crop residue and N fertilizer effects on crop yield,nutrient uptake,soil quality and nitrous oxide gas emissions in a second 4-yr rotation cycle[J]. Soil & Tillage Research,2007,96(1/2):269-283.
- [25]Raimbault B A,Vynt J. Crop rotation and tillage effects on corn growth and soil structural stability[J]. Agronomy Journal,1962,83(6):979-985.
- [26]马永良,郝晋珉,崔四平,等. 玉米秸秆整株还田技术研究[J]. 河北农业科学,2000,4(1):1-8.
- [27]赵凡,何秀云,沈玉梅,等. 玉米秸秆还田保护性耕作对产量及土壤理化性状影响的灰色关联分析[J]. 干旱地区农业研究,2011,29(4):208-213.
- [28]王应,袁建国. 秸秆还田对农田土壤有机质提升的探索研究[J]. 山西农业大学学报(自然科学版),2007,27(6):120-121,126.
- [29]赵聚宝. 秸秆还田效果及在土壤肥料中的地位[J]. 土壤通报,1991,5(1):80-83.
- [30]张电学,韩志卿,刘微,等. 玉米秸秆直接还田配施促腐剂效应研究[J]. 河北科技师范学院学报,2003,17(4):5-9.
- [31]李玮,张佳宝,张丛志. 秸秆还田方式和氮肥类型对黄淮海平原夏玉米土壤呼吸的影响[J]. 中国生态农业学报,2012,20(7):842-849.
- [32]王丙文,迟淑筠,田慎重,等. 不同玉米秸秆还田方式对冬小麦田土壤呼吸的影响[J]. 应用生态学报,2013,24(5):1374-1380.
- [33]雷宏军,李保国,白由路,等. 黄淮海平原区不同农作措施下耕层土壤有机质矿化与CO₂排放估算[J]. 中国农业科学,2005,38(10):2035-2042.
- [34]窦森,于水强,张晋京. 不同CO₂浓度对玉米秸秆分解期间土壤腐殖质形成的影响[J]. 土壤学报,2007,44(3):458-466.
- [35]强学彩,袁红莉,高旺盛. 秸秆还田量对土壤CO₂释放和土壤微生物量的影响[J]. 应用生态学报,2004,15(3):469-472.
- [36]张星杰,刘景辉,李立军,等. 保护性耕作对旱地玉米土壤微生物和酶活性的影响[J]. 玉米科学,2008,16(1):91-95.
- [37]吴景贵,姜岩,姜亦梅,等. 非腐解有机物培肥对水田土壤生物量态碳、氮的影响[J]. 土壤通报,1998,29(4):158-160.
- [38]Jones D L. Organic acids in the rhizosphere - a critical review[J]. Plant and Soil,1981,205(1):25-44.
- [39]王兆荣. 有机物料的腐解及土壤有机质的调控[J]. 东北农学院学报,1991(4):57-62.
- [40]闫慧荣,曹永昌,谢伟,等. 玉米秸秆还田对土壤酶活性的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2015,43(7):177-184.
- [41]郑洪兵,郑金玉,罗洋,等. 玉米秸秆粉碎不同量级还田对土壤养分的影响[J]. 吉林农业科学,2014,39(5):38-42.
- [42]解文艳,樊贵盛,周怀平,等. 秸秆还田方式对旱地玉米产量和水分利用效率的影响[J]. 农业机械学报,2011,42(11):60-67.
- [43]慕平,张恩和,王汉宁,等. 不同年限全量玉米秸秆还田对玉米生长发育及土壤理化性状的影响[J]. 中国农业生态学报,2012,20(3):291-296.
- [44]王丽学,王晓禹. 不同秸秆翻土还田量对土壤养分及玉米产量的影响[J]. 江苏农业科学,2015,43(4):312-315.
- [45]刘冬云. 秸秆还田应用中存在问题及对策建议[J]. 安徽农学通报,2014,20(11):128.
- [46]于琳浩,耿爱军,王明廷,等. 玉米秸秆还田现状与对策探析[J]. 农业装备与车辆工程,2015,53(11):4-6.