黑龙江农业科学 2021(11):106-112
Heilongjiang Agricultural Sciences
http://hljnykx.haasep.cn
DOI:10.11942/j.issn1002-2767.2021.11.0106

湛玉曼,郝小雨,肖洋.不同有机物料还田对土壤钾素影响研究进展[J].黑龙江农业科学,2021(11):106-112.

不同有机物料还田对土壤钾素影响研究进展

湛玉曼[1,2],郝小雨[2],肖　洋[1]
(1.黑龙江大学 现代农业与生态环境学院,黑龙江 哈尔滨 150080;2.黑龙江省农业科学院土壤肥料与环境资源研究所,黑龙江 哈尔滨 150086)

摘要:为探究常见有机物料对于土壤钾素形态有效性及对作物生长的影响,本文基于常用有机物料种类及施用方式,对当下有机物料包括秸秆、畜禽粪便、草木灰、生物炭、绿肥等的应用研究现状,以及对土壤中不同形态钾素的影响及肥效发挥情况进行综述,并提出了研究展望。有机物料在不同地区及土壤间作用效果差异显著,应根据实际情况开展还田应用。有机物料还田时需综合考虑土壤、作物的承载力,施用效果和还田成本等因素。

关键词:有机物料;还田;肥效;土壤钾素

目前我国土壤退化与粮食生产安全之间矛盾逐渐凸显,合理的施肥管理对于维持土壤可持续发展起着关键作用。化肥在保证我国粮食稳产高产方面发挥了巨大作用。但大量研究表明,有机物料在促进作物生长[1]、增加土壤养分[2-3]、促进土壤酶活性及微生物活动[4-5]、改善土壤结构[6-7]等方面具有化肥不可替代的作用。尽管我国有机物料资源丰富,每年大约有40亿t,但大多数农业固体废弃物都被丢弃或焚烧处理,不仅污染环境又浪费资源。在农业生产中,作物秸秆、畜禽粪便、草木灰等有机物料还田不仅可以减少化肥的施用、缓解化肥过量施用对土壤生态环境的污染[3],又可促进农业有机废弃物的资源利用[8],对于农业可持续发展有积极意义。钾素作为作物的品质元素及抗逆元素,是作物生长发育中的必需元素之一。从全国水平来看,我国土壤的钾素盈亏水平随时间的增加而增加,已经由低水平增加到中等水平。总体上我国土壤钾素丰富,但随着农业的不断发展,农民群众对钾素补充意识不足,导致土壤钾素超负荷支出,得不到及时补充。1980—2015年东北及长江中下游地区土壤钾素平衡虽稍有缓解,但始终处于负盈亏状态[9]。钾素成为限制当前农业发展的一大因素[10]。我国钾资源严重缺乏,作为不可再生资源,除科学高效地利用钾肥,有机物料中钾资源的循环利用显得格外重要。本文从有机物料还田对于土壤钾素的影响及其肥效发挥等方面,阐明秸秆、畜禽粪便、草木灰、生物炭、绿肥五种常见有机物料还田的应用效果及存在问题,以期为今后有机物料还田应用提供参考依据。

1　常用有机物料种类及施用方式

常用的有机物料主要有秸秆、畜禽粪便、草木灰、生物炭、绿肥等。有机物料的还田方式大致可分为两类:直接还田和间接还田。直接的还田方式是将有机物料粉碎,直接覆盖于地表或经过深耕等方式混入田间;间接的还田方式是将有机物料经过过腹、堆沤等,再还田处理的方式。最后待其分解转化为有利于作物生长的营养物质[11]。直接还田方式分为覆盖还田、翻压还田。覆盖是将有机物料抛洒于土壤表面[12],翻压是将前茬作物秸秆或其他有机物料机械翻入土层20～30 cm或更深处,待其分解后将养分归还土壤[11]。

2　不同有机物料还田对土壤钾素的影响

2.1　秸秆

秸秆还田是将收获后的作物秸秆和残留物进行处理还田的方式。我国是农业大国,各类农作物秸秆资源十分丰富。作为可循环的有机物料,秸秆中钾素含量占1.02%～1.94%[13]。据统计,2015—2017年我国的三大粮食作物中水稻秸秆产量为3 212万t、小麦秸秆产量为17 083万t、玉米秸秆产量为39 918万t,年均钾资源量分别为529万、216万和568万t[14]。秸秆还田作为农业节

收稿日期:2021-07-23
基金项目:黑龙江省农业科学院"农业科技创新跨越工程"专项(HNK2019CX1310);国家重点研发计划"粮食丰产增效科技创新"重点专项(2017YFD0300503-02);黑龙江省农业科学院高效、绿色现代农业示范项目(TGY-2020-37);哈尔滨市科技创新人才研究专项资金(青年后备人才创业类)项目(RC2017QN002011)。
第一作者:湛玉曼(1996－),女,在读硕士,从事土壤肥力研究。E-mail:zhanyuman1996@163.com。
通信作者:肖洋(1978－),男,博士,副教授,从事农业水土保持研究。E-mail:xiaoyang@hlju.edu.cn。

水和增产增肥的重要农业技术,被列为可持续农业的关键技术之一。秸秆还田可以增加土壤钾素、促进土壤钾库平衡;将秸秆还田并充分利用土壤表层下钾素,可减少钾肥施入[15]。

2.1.1　秸秆还田对于土壤中不同形态钾素的影响　秸秆还田可增加土壤中速效钾的含量,同时缓解土壤缓效钾的下降,维持土壤的钾素平衡,促进土壤钾库扩容,尤其丰富土壤速效钾库[16]。有研究发现,秸秆还田相对于不还田处理,土壤速效钾和缓效钾在土壤的 0～20 cm 耕层增加效果显著[17]。长期连续秸秆还田并施用钾肥,土壤 0～40 cm 速效钾和缓效钾增量显著,但土壤全钾效果不显著[18]。

2.1.2　秸秆还田肥效发挥　在秸秆还田代替钾肥及维持土壤钾素动态平衡的研究中,在常见的玉米、小麦、水稻三大粮食作物秸秆全量还田比较中,输入量分别为化肥钾的 91.9%、84.0% 和 129.0%,可见水稻秸秆中的钾含量最高[19]。傅伟等[20]在试验中发现,玉米田中秸秆还田代替部分钾肥,可维持土壤中钾素动态平衡。秸秆还田代替钾肥效果显著,但代替 NPK 肥效果不一。可能由于土壤基础肥力不同的原因,吴玉红等[21]发现秸秆＋化肥减量相比常量化肥处理,土壤钾素呈下降趋势;但也有研究表明秸秆还田与化肥减半配施处理,土壤速效钾含量高于常量化肥处理[22]。

在秸秆肥效发挥研究中,程文龙等[16]的研究表明,秸秆代替钾肥在试验第一周期钾素呈亏缺状态,到达第三轮作周期后,呈盈余状态。在长期研究中,各处理组全钾和交换性钾含量表现为免耕秸秆还田＞传统耕作秸秆还田＞荒地土壤＞传统耕作＞免耕;在不同耕作方式与秸秆还田条件下,土壤中非交换钾含量变化最大。钾素在长期还田累积效应下,与不施秸秆相比施秸秆处理钾素释放作用更加明显[23]。此外轮作条件下,玉米季对秸秆钾利用率要高于小麦季;且二者对秸秆钾的吸收效率均高于化肥钾[24]。玉米与小麦对秸秆利用率不同,可能是钾素对玉米产量影响更大的原因[17]。

秸秆的不同还田方式对土壤钾素影响存在差异。栾天浩等[25]在春玉米秸秆还田试验中发现,秸秆旋耕处理对土壤钾素含量变化影响不显著,而秸秆覆盖处理土壤全钾提升了 0.98%,速效钾提升 12.33%。也可能由于还田年限短的原因,有研究发现,在还田试验到达第三年时,秸秆旋耕处理速效钾含量显著高于秸秆覆盖处理[26]。邹文秀等[27]发现单独秸秆深混相比秸秆＋其他有机肥深混,对土壤亚耕层速效钾的增加效果更为显著,是否腐熟对速效钾含量变化的影响不大,但秸秆腐熟剂会加速秸秆分解速率[28]。

2.1.3　秸秆还田存在的问题与总结　秸秆还田对于促进土壤中钾素的积累具有积极影响,在补充土壤钾素的同时,还可减少钾肥投入,对土壤钾素动态平衡具有重要意义。但秸秆还田的效果会受到还田量、还田方式及时限的影响,温度、湿度及耕作方式都会影响秸秆还田的效果。尽管秸秆还田存在许多优点,但我国各地秸秆作物不同,利用效率与方式也大不相同[29]。在秸秆还田的腐解过程中,微生物分解需要养分维持,因此在还田过程中,还要注意氮、磷肥的补充,以免造成微生物与作物争抢养分的现象[30]。同时秸秆还田量过大,不仅会影响整地和播种质量,还会加重作物病虫害的发生[31];此外还会促进甲基汞的产生[32]和砷在土壤及作物中的积累[33]。因此应减少在受汞、砷污染的土壤中进行秸秆直接还田,对不同地区还田量进行实践探索,找出不同作物、土壤类型下合适的还田量及还田方式。此外,大部分秸秆并未能采取科学的方式加以利用,主要是由于化肥的便捷施用以及秸秆还田的成本高及效率低的问题。所以提高秸秆的利用率以及配套农机的研发对于降低秸秆带来的农业面源污染和农田“减肥”具有重要意义。

2.2　畜禽粪便

畜禽粪便作为农业常用有机肥料之一,含有丰富的有机质。常见畜禽粪便的 K_2O 含量在 0.4%以上,其中猪粪、羊粪肥的 K_2O 含量能够达到 0.6% 以上,禽粪肥的 K_2O 含量能够高达 0.85%(鹅粪因水分高 K_2O 含量略低)[34];此外人的粪尿也可作为有机肥料施入田中。在2010—2019 年,我国粪便的总养分平均值可达 2 080 万 $t\cdot a^{-1}$,其中 K_2O 达 881 万 t。粪便的施入能够为作物提供养分,减少化肥施用[35],但由于现代养殖中饲料添加剂成分会随粪便排出,以及重金属超标和生粪烧苗等问题,粪便需经过处理才可施入田中[36]。

2.2.1　畜禽粪便还田对土壤中不同形态钾素的影响　常见的畜禽粪便有鸡粪、猪粪、牛粪、鸭粪,其中猪粪肥全钾含量最高,牛粪最低。杭州代表性规模化养殖场的 12 种畜禽粪样中全钾含量在 4.87～53.40 $g\cdot kg^{-1}$;速效钾和缓效钾平均占全钾

比例的49.4%和32.4%。粪便还田后,大部分钾可以在短时间内转化成土壤有效钾[37]。大量研究发现,鸡粪、羊粪等畜禽粪便还田,可以显著提高土壤速效钾的含量,同时增加作物的产量;且土壤速效钾含量随粪便还田量的增加而增加[38-40]。除对速效钾影响显著,同一土层粪便还田土壤全钾含量均大于常规施肥及对照组[41]。

2.2.2 畜禽粪便还田肥效发挥 以2016年为例,农业生产中化肥施用量与畜禽粪便养分含量相比,畜禽粪便中K_2O含量占同年钾肥施用的381.1%[42];在2020年对我国5个多民族地区的秸秆以及粪便的统计中,钾肥相较氮肥和磷肥的年平均替代充足率最高(3.31)[43],因此畜禽粪便还田代替钾肥拥有巨大潜力。季佳鹏等[44]研究发现,化肥减量20%配施鸡粪,土壤速效钾含量相比常量化肥,两年分别增加了7.75%和18.5%,增效效果显著;且鸡粪的维持及供养能力优于牛粪。

在畜禽粪便还田肥效发挥的研究中,曾庆庆等[45]在多年猪粪肥还田试验中发现,长期施用猪粪肥可有效提高土壤钾素供给能力。在玉米地与蔬菜地中,土壤速效钾与缓效钾含量在8年中均呈增长趋势,除蔬菜地缓效钾外,其他变化表现显著。粪便的肥效与播撒范围及温度等也有关。何奕忻等[46]发现,粪便在夏季影响范围在10 cm内效果显著,并且很难影响到30 cm以外的土壤环境。粪肥还田还可提高其他有机物料的还田效率,在秸秆还田时添加畜禽粪便,能够提高秸秆养分释放率[47]。

2.2.3 畜禽粪便还田存在的问题与总结 畜禽粪便还田对于提高土壤中钾元素存在积极意义,但还田的效果会受环境与还田方式和粪便分布的影响;过量还田不仅不会增加作物的产量,还会对作物造成不利影响。尽管畜禽粪便具有增加土壤中的各类营养元素和提高作物产量的作用,但在实际的使用中还要考虑农田土壤的承载能力。由于大多数粪便是直接(未经处理)或间接(一般处理)应用于农田[48],一般处理无法有效降低其重金属浓度和生物利用度[49]。李祖章等[50]通过长期定位监测稻田发现,猪粪施用量越高,土壤残留速效钾含量越高,尽管在早稻的产量上有优秀表现,但后期会导致晚稻稻飞虱危害的发生,致使水稻减产,还会导致更严重的锌、铜、砷等重金属的积累。因此长期过量施用畜禽粪便可能导致土壤重金属污染等危害[51],不可只为追求一时还田效果忽视土地承载能力。

2.3 草木灰

2.3.1 草木灰还田对土壤中不同形态钾素的影响 草木灰是由作物秸秆、柴草等烧制成的灰肥,包含几乎所有作物所需的养分,其碳酸钾含量最高,钾素一般在6%~12%。草木灰对于促进作物生长发芽、抑制病害都能起到一定的积极作用[52-54]。且草木灰中重金属元素不超标,作为肥料,可以促进养分的循环。有试验发现,在黑土酸化治理中,化肥配施草木灰相比化肥配施马粪,土壤速效钾的增量更大[55]。

2.3.2 草木灰还田肥效发挥 草木灰还田可替代一定量的钾肥。石峰等[56]的试验表明,草木灰、草木灰+草炭、草木灰+鹿粪混合,3种方式代替钾肥,土壤速效钾含量随年份增长;其中草木灰与草炭或鹿粪混合施用的方式增幅更大。祝延立等[57]的试验也表明,草木灰可代替部分钾肥,减少钾肥施用量。草木灰与化肥配施效果显著,并且不会显著改变土壤的持水特性,采用中肥水的施用方式,不仅可以改善土壤长期大量施用化肥所导致的土壤结构破坏,还可以减小草木灰对土壤持水力的影响[58]。由于草木灰的高钾素含量,适用于喜钾作物,尤其对于忌氯喜钾的马铃薯、烟草等肥效更佳[54,59]。而以草木灰作为钾肥,一般不会影响除锰元素以外其他养分的利用效率,还具有对于铜、镍、锌等重金属元素的钝化作用[60]。将适当的草木灰用作钾肥能够改善可可植物的生长,且不会造成负面影响[61]。

2.3.3 草木灰还田存在的问题与总结 草木灰不仅可以提高土壤养分含量,还可提高土壤pH[62]。作为我国农村经济又便捷的农家肥之一,对土壤肥力增效显著,在我国能源紧缺以及化肥成本不断增加的情况下,草木灰还田具有重要的现实意义。但大量施用会使土壤变碱,土壤质量下降,因此草木灰应用要根据土壤的具体性质进行施加[63]。

2.4 生物炭

作为一种土壤改良剂和肥料载体、碳封存剂,生物炭在近些年受到了广泛关注[64]。有研究发现生物炭可能是提高土壤速效钾含量的有效方法[65-66],其性质与草木灰相似:钾素含量高、呈碱性,对提高土壤pH有一定的作用。有研究表明,pH的提高会增加土壤对钾离子的固定[67]。但丛铭等[68]的研究结果表明,pH升高对钾离子的固定作用不及对土壤钾离子的促进作用。

2.4.1　生物炭还田对土壤中不同形态钾素的影响　在生物炭对红壤中不同形态钾素含量影响的研究中,1%、2%和 4% 3 种生物炭处理中,土壤全钾含量变化不显著;但土壤交换性钾、非交换性钾含量随生物炭施入量的增加而增加,且对于提高土壤交换性钾和水溶性钾含量的能力比非交换钾的要强[68]。姜敏等[69]还发现施加 2%生物炭可提高土壤中解钾菌的数量,促进土壤矿物钾向水溶性钾的转变。

2.4.2　生物炭还田肥效发挥　施入钾含量相对较高的生物炭可以作为土壤钾素的补充方式[70]。理论上土壤速效钾会随着生物炭施入量的增加而增加,但实际上土壤速效钾的含量随着生物炭施用量的增加,呈先增加后降低的趋势;且生物炭对于作物的生长影响有着相似趋势,即只有在一定范围内,生物炭才能在促进土壤钾积累的同时,促进作物的生长[71-72]。在生物炭替代化肥,补充土壤养分的研究中,鞠畅[73]发现,生物炭的钾肥替代率可达 100%,并且还可以实现部分氮、磷肥减施;用于补充磷素时,钾肥和磷肥的替代率都可达到 100%;但在补充氮素时,会存在磷素超标的风险。同样有研究发现,使用 2%的生物炭可以减少 40%常规钾肥施用[74]。

相同生物炭在不同土壤环境中肥效表现存在很大差异。姜敏等[69]在对黄棕壤和灰潮土的研究中发现黄棕壤中有效态钾随生物炭施加量的增加,增量呈减少趋势;而灰潮土中有效态钾随生物炭施加量的增加,增量呈增加趋势。张祥等[75]对红壤和黄棕壤的研究发现,2%生物炭处理,两种土壤理化性质变化最为明显,红壤速效钾含量提高 368.0%,但黄棕壤只有 50.3%。相同的生物炭用量对红壤改良优于黄棕壤。生物炭可提高土壤的有效钾库,促进有效钾向速效钾的转化。有效钾转化为速效钾的转化率中,风沙土>棕壤土>白浆土,平均转化为 43.87%、19.26%和 15.35%;有效钾转化为缓效钾的转化率中,棕壤>白浆土>风沙土,平均转化率为 53.68%、1.66%和 0;由于生物炭的吸附固定作用,施加后会降低当季钾肥的利用率[76]。

2.4.3　生物炭还田存在的问题与总结　钾作为生物炭中含量最高的元素,其速效钾含量丰富,施入土壤中能够增加土壤有效钾的含量,促进植物的生长与对钾元素的吸收利用。但由于生物炭呈碱性,对土壤钾元素及作物的作用会受到土壤 pH 的影响;同时,生物炭对于不同的土壤影响不同,且影响并不完全呈正相关性。

2.5　绿肥

绿肥具有悠久历史,是传统农业中的精华所在。作为农民专门种植的生物有机肥,对于改善土壤肥力,提高作物产品品质具有重要作用,在保墒培肥的基础上,还可作为牧草进行过腹还田。绿肥营养全面,还田腐解不仅可以提高土壤养分,还可改善土壤物理性质;短期的休耕种植绿肥可以显著提高土壤肥力和后续作物生产力[77-78]。我国国土辽阔,地域差异大,不同地区主要绿肥应用不同,其分解速率大多与绿肥本身的碳氮比相关,从养分的矿化率来看,钾>磷>碳>氮[79]。

2.5.1　绿肥还田对土壤中不同形态钾素的影响　钟梅[80]在不同绿肥的还田腐解试验中发现,绿肥在不同阶段其速效钾含量在土壤中一直呈上升趋势,张志强等[81]也有相似结论。同样黄国斌等[82]在贵州绿肥还田试验中发现,种植绿肥翻压还田土壤各养分含量均逐渐增加,全钾含量从 10.33 g·kg^{-1}上升到 11.77 g·kg^{-1},6 年的年均增幅为 1.89%;速效钾含量从 105.79 mg·kg^{-1}上升到 125.44 mg·kg^{-1};但周德平等[83]在研究中发现,油菜压青还田与土壤中速效钾的含量变化无显著相关性。

2.5.2　绿肥还田肥效发挥　绿肥可以代替部分化肥,但绿肥只有与化肥配合施用,才能发挥最大肥效[84]。史桂芳等[85]发现,二月兰翻压还田配施减量 10%~30%的化肥,土壤速效钾含量增加 7.1%~8.8%,可明显起到减肥增效的效果。郭鹏[86]的试验研究表明,在苹果园绿肥还田中,75%化肥+绿肥完全可以替代 100%化肥处理,其产量表现与土壤养分贡献都要大于单施化肥。

在绿肥的肥效发挥研究中,李继明[84]等发现,长期绿肥还田配施化肥,可以提高化肥的钾素利用效率,并且促进作物稳产增产。但在 26 年长期试验中,土壤中全钾、速效钾含量均低于试验前土壤钾素含量;在对土壤钾素退化的对比中,绿肥+化肥+秸秆处理土壤钾素亏损量最小。

绿肥的不同还田方式,肥效差异显著。魏全全等[87]的试验表明,豌豆绿肥的分解速率表现为风干绿肥>新鲜绿肥,可见相同绿肥的不同处理也会造成分解速率的不同;绿肥不同还田方式下,养分的释放速率表现为翻压还田>免耕还田[88],且翻耕配合催腐剂土壤养分含量高于不添加催腐剂[89]。

2.5.3 绿肥还田存在的问题与总结 绿肥作为最清洁的有机肥肥源之一，不会携带外来抗生素、重金属等进入土壤[90]；在一定情况下能够提高土壤钾素含量，尤其是土壤速效钾，且不同的还田方式养分释放速率不同。选择绿肥品种，不仅要考虑当地气候条件，还要根据所需改善土壤的性质和作物产量选择适合的绿肥种类。同时种植绿肥还应选择合适的时间，尤其是套作时，过早会与主栽植物争抢养分，过晚则会导致绿肥生物量积累不足，无法满足下一年主栽植物的生长发育需求。种植绿肥进行休耕，也会导致粮食作物的生产总量下降，在我国地少人多的情况下，大面积实行较为困难。

3 展望

有机物料还田对于土壤钾素具有显著的促进作用，但对不同形态钾素作用效果存在差异；有机物料还田能够替代钾肥的施入，对于减少钾肥施用和促进土壤钾库平衡具有重要意义，但在实际应用中，还存在一些问题，故提出以下3点建议。第一，有机物料在不同地区及土壤间作用效果差异显著。同一条件下，作物不同，养分利用效率也存在差异。因此开展因时、因地、因作物的研究，才能在实际的还田应用中起到积极作用；第二，有机物料还田，土壤钾素不会随还田量的增加而一直增加；过量还田，不仅不会产生积极影响，还会增加土壤及作物重金属的积累，加重作物病虫害。有机物料还田是对土壤物理、化学性质的综合影响，因此不能仅为增加土壤钾素而无限增加还田量，还要考虑土壤、作物的承载力，综合考虑施用效果；第三，在今后的还田研究中，不仅要侧重于对适宜还田量的研究，还要找到经济、便捷的还田方式，还田成本是实际有机物料还田应用的重要影响因素之一，也是在科学研究中需要考量的重要方面。

参考文献：

[1] 李佩. 稻油轮作下添加有机物料对作物产量和土壤养分的影响[D]. 合肥：安徽农业大学，2020.

[2] WANG Y L，WU P N，MEI F J，et al. Does continuous straw returning keep China farmland soil organic carbon continued increase? A meta-analysis[J]. Journal of Environmental Management，2021，288：112391.

[3] 张建军，樊廷录，赵刚，等. 不同有机物料与部分化肥长期定位配合施用对土壤养分的调控效应[J]. 中国土壤与肥料，2018(3)：85-91.

[4] DOMINCHIN M F，VERDENELLI R A，BERGER M G，et al. Impact of N-fertilization and peanut shell biochar on soil microbial community structure and enzyme activities in a Typic Haplustoll under different management practices[J]. European Journal of Soil Biology，2021，104：103298.

[5] 侯建勋，张水梅，袁静超，等. 玉米秸秆源有机物料对黑土养分有效性与酶活性的提升效应[J]. 植物营养与肥料学报，2021，27(4)：610-618.

[6] 高强. 长期施肥下黄泥田水稻土团聚体稳定性及生物学特性研究[D]. 扬州：扬州大学，2020.

[7] 程思远，李欢，梅慧玲，等. 接种蚯蚓与添加有机物料对茶园土壤结构的影响[J]. 土壤学报，2021，58(1)：259-268.

[8] 徐节田，邸文静，杜刚，等. 有机物料还田方式及对土壤培肥的作用[J]. 资源与环境科学，2019(1)：182，184.

[9] 刘迎夏. 中国农田钾素养分盈亏平衡的时空变化[D]. 长春：吉林农业大学，2017.

[10] 李秀双. 秸秆还田与施用钾肥对提升农田土壤钾素肥力的效应研究[D]. 杨凌：西北农林科技大学，2016.

[11] 张虹，杨耀峰. 秸秆还田技术应用中存在的问题及对策[J]. 北京农业，2011(30)：145-146.

[12] 张立恒，刘宝军，程杰，等. 干旱地区不同有机物料还田研究进展[J]. 安徽农业科学，2020，48(19)：18-22，37.

[13] YIN H J，ZHAO W Q，LI T，et al. Balancing straw returning and chemical fertilizers in China：Role of straw nutrient resources[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews，2018，81：2695-2702.

[14] 柴如山，安之冬，马超，等. 我国主要粮食作物秸秆钾养分资源量及还田替代钾肥潜力[J]. 植物营养与肥料学报，2020，26(2)：201-211.

[15] QIU S J，XIE J G，ZHAO S C，et al. Long-term effects of potassium fertilization on yield，efficiency，and soil fertility status in a rain-fed maize system in northeast China[J]. Field Crops Research，2014，163：1-9.

[16] 程文龙，韩上，武际，等. 连续秸秆还田替代钾肥对作物产量及土壤钾素平衡的影响[J]. 中国土壤与肥料，2019(5)：72-78.

[17] ZHAO S C，HE P，QIU S J，et al. Long-term effects of potassium fertilization and straw return on soil potassium levels and crop yields in north-central China[J]. Field Crops Research，2014，169：116-122.

[18] 侯云鹏，刘志全，尹彩侠，等. 长期秸秆还田下基于东北水稻高产和钾素平衡的钾肥用量研究[J]. 植物营养与肥料学报，2020，26(11)：2020-2031.

[19] 宋大利，侯胜鹏，王秀斌，等. 中国秸秆养分资源数量及替代化肥潜力[J]. 植物营养与肥料学报，2018，24(1)：1-21.

[20] 傅伟，刘坤平，陈洪松，等. 秸秆还田替代化学钾肥对喀斯特峰丛洼地春玉米产量及土壤钾素的影响[J]. 中国生态农业学报，2017，25(12)：1823-1831.

[21] 吴玉红，郝兴顺，田霄鸿，等. 秸秆还田与化肥减量配施对稻茬麦土壤养分、酶活性及产量影响[J]. 西南农业学报，2018，31(5)：998-1005.

[22] WU L P，MA H，ZHAO Q L，et al. Changes in soil bacterial community and enzyme activity under five years straw returning in paddy soil[J]. European Journal of Soil Biology，2020，100：103215.

[23] 刘智杰. 长期秸秆还田下土壤颗粒中粘粒矿物组成及钾素释放[D]. 武汉：华中农业大学，2018.

[24] BAIY L，WANG L，LU Y L，et al. Effects of long-term full

straw return on yield and potassium response in wheat-maize rotation[J]. Journal of Integrative Agriculture, 2015,14(12):2467-2476.

[25] 栾天浩,刘云强,高阳,等. 不同秸秆还田方式对玉米产量及土壤理化性质的影响[J]. 东北农业科学,2020,45(6):64-67,77.

[26] MA L J,KONG F X,WANG Z,et al. Growth and yield of cotton as affected by different straw returning modes with an equivalent carbon input[J]. Field Crops Research, 2019,243:107616.

[27] 邹文秀,韩晓增,陆欣春,等. 肥沃耕层构建对东北黑土区旱地土壤肥力和玉米产量的影响[J]. 应用生态学报,2020,31(12):4134-4146.

[28] 申逸男. 玉米秸秆不同还田方式对土壤钾素的影响[J]. 农业与技术,2020,40(14):31-33.

[29] 黄继川,彭智平,徐培智,等. 华南区域秸秆和畜禽粪便有机钾资源调查分析[J]. 广东农业科学,2017,44(4):83-89.

[30] 陈喜靖,喻曼,王强,等. 浙江省稻田系统秸秆还田问题及对策[J]. 浙江农业学报,2018,30(10):1765-1774.

[31] 王自文. 垦区秸秆粉碎还田技术应用现状及推广方向浅析[J]. 中国农垦,2019(12):39-41.

[32] WANG Y J,CHEN Z Y,WU Y G,et al. Comparison of methylmercury accumulation in wheat and rice grown in straw-amended paddy soil.[J]. The Science of the total environment,2019,697:134143.

[33] SHU R,WANG Y J,ZHONG H. Biochar amendment reduced methylmercury accumulation in rice plants[J]. Journal of Hazardous Materials,2016,313:1-8.

[34] 潘梅香. 有机肥种类特性及其在蔬菜生产中的科学施用技术[J]. 现代农业科技,2009(13):136,138.

[35] WANG B,HUANG Y,LIU W,et al. Returning excrement from livestock,poultry,and humans to farmland as nutrient resources for crop growth: Assessment of rural China [J]. Process Safety and Environmental Protection,2021, 146:412-423.

[36] 王科. 畜禽粪肥应怎样还田[N]. 河南科技报,2020-07-17(B07).

[37] 倪中应,叶永青,徐立军,等. 畜禽粪便中钾的有效性及其在土壤中的释放特点[J]. 农学学报,2016,6(1):88-91.

[38] 胡诚,刘东海,乔艳,等. 不同施肥措施对黄泥田土壤养分及水稻产量的影响[J]. 贵州农业科学,2017,45(4):12-15.

[39] 孙玉竹. 寒区盐碱土中粪肥养分释放规律及对苜蓿生长特性的影响[D]. 大庆:黑龙江八一农垦大学,2019.

[40] 吴红,刘海霞,周明夏,等. 羊粪还田对巨峰葡萄园土壤理化性质的影响[J]. 广东农业科学,2018,45(12):32-37.

[41] 张畅. 不同有机物料还田对土壤肥力及玉米生长发育的影响[D]. 长春:吉林农业大学,2016.

[42] 石晓晓,郑国砥,高定,等. 中国畜禽粪便养分资源总量及替代化肥潜力[J]. 资源科学,2021,43(2):403-411.

[43] WANG B,LI M,WEN X Y,et al. Distribution characteristics,potential contribution,and management strategy of crop straw and livestock-poultry manure in multi-ethnic regions of China: A critical evaluation[J]. Journal of Cleaner Production,2020,274:123174.

[44] 季佳鹏,赵欣宇,吴景贵,等. 有机肥替代 20%化肥提高黑钙土养分有效性及玉米产量[J]. 植物营养与肥料学报,2021,27(3):491-499.

[45] 曾庆庆,何腾兵,黄会前,等. 猪粪肥施用年限对耕地质量的影响[J]. 贵州农业科学,2019,47(2):27-31.

[46] 何奕忻,孙庚,刘琳,等. 牦牛粪便对川西北高寒草甸土壤养分的影响[J]. 应用与环境生物学报,2009,15(5):666-671.

[47] 杨茜雯,吴景贵,王雪峰,等. 畜禽粪与玉米秸秆田间原位条带堆腐特征研究[J]. 环境科学与技术,2020,43(6):46-52.

[48] WANG W Q,ZHANG W J,WANG X P,et al. Tracing heavy metals in 'swine manure-Maggot-chicken' production chain[J]. Scientific Reports,2017,7(1):1-9.

[49] YANG X P,LI Q,TANG Z,et al. Heavy metal concentrations and arsenic speciation in animal manure composts in China[J]. Waste Management,2017,64:333-339.

[50] 李祖章,谢金防,蔡华东,等. 农田土壤承载畜禽粪便能力研究[J]. 江西农业学报,2010,22(8):140-145,149.

[51] QIAN X Y,WANG Z Q,SHEN G X,et al. Heavy metals accumulation in soil after 4 years of continuous land application of swine manure: A field-scale monitoring and modeling estimation[J]. Chemosphere,2018,210:1029-1034.

[52] BOGUSH A A,STEGEMANN J A,WILLIAMS R,et al. Element speciation in UK biomass power plant residues based on composition,mineralogy,microstructure and leaching[J]. Fuel,2018,211:712-725.

[53] 张甜甜. 常见草木灰 发挥大作用[N]. 河南科技报,2020-10-30(B06).

[54] 张春苗,王晶. 简述草木灰的使用[J]. 新农业,2019(22):27-28.

[55] 张喜林,周宝库,孙磊,等. 黑龙江省耕地黑土酸化的治理措施研究[J]. 东北农业大学学报,2008(5):48-52.

[56] 石峰,李楠,郭梓涵,等. 草木灰颗粒肥对土壤速效养分的影响[J]. 河南农业,2016(20):33-34.

[57] 祝延立,郗登宝,潘晓峰,等. 草木灰与化肥配施对玉米农艺性状及产量的影响[J]. 安徽农业科学,2016,44(9):42-43,152.

[58] 韩国君,陈年来,黄海霞,等. 钾肥类型与施用量对土壤持水特性的影响[J]. 干旱区资源与环境,2013,27(6):26-29.

[59] 宁德彦,秦绍文. 浅谈草木灰的主要用途[J]. 农业开发与装备,2013(11):95.

[60] 向霄. 褐煤、泥炭、草木灰组合对农田土壤中重金属的钝化效果研究[J]. 腐植酸,2019(3):42-47.

[61] BAON J B. Use of plant derived ash as potassium fertilizer and its effects on soil nutrient status and cocoa growth[J]. Jurnal Tanah Tropika,2009,14(3):185-193.

[62] 陈杰,张晶,宋靖珂,等. 草木灰对单一与复合污染土壤中铜、铅和铬的钝化[J]. 西南农业学报,2016,29(8):1947-1951.

[63] 杨明. 新型草木灰颗粒肥肥效特性及应用研究[D]. 延吉:延边大学,2017.

[64] 何绪生,耿增超,佘雕,等. 生物炭生产与农用的意义及国

内外动态[J]. 农业工程学报,2011,27(2):1-7.
[65] WANG L,XUE C,NIE X X,et al. Effects of biochar application on soil potassium dynamics and crop uptake[J]. Journal of Plant Nutrition and Soil Science,2018,181(5):635-643.
[66] POORMANSOUR S,RAZZAGHI F,SEPASKHAH A R. Wheat straw biochar increases potassium concentration, root density, and yield of faba bean in a sandy loam soil[J]. Communications in Soil Science and Plant Analysis,2019,50(15):1799-1810.
[67] JOSEPH S D,CAMPS-ARBESTAIN M,LIN Y,et al. An investigation into the reactions of biochar in soil[J]. Soil Research,2010,48(7):501-515.
[68] 丛铭,张梦阳,夏浩,等. 施用生物炭对红壤中不同形态钾含量及小白菜生长的影响[J]. 华中农业大学学报,2020,39(4):22-28.
[69] 姜敏,汪霄,张润花,等. 生物炭对土壤不同形态钾素含量的影响及机制初探[J]. 土壤通报,2016,47(6):1433-1441.
[70] LIU Y X,LU H H,YANG S M,et al. Impacts of biochar addition on rice yield and soil properties in a cold waterlogged paddy for two crop seasons[J]. Field Crops Research,2016,19:161-167.
[71] 余端,冯牧野,李燕,等. 秸秆生物炭对小白菜生长发育及土壤性质的影响[J]. 南方农业,2019,13(34):45-47.
[72] 王欢欢,元野,任天宝,等. 生物炭对东北黑土理化性质影响研究[J]. 中国农学通报,2018,34(35):67-71.
[73] 鞠畅. 基于生物炭补偿的土壤养分化学计量平衡研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2020.
[74] ZHANG M Y,RIAZ M,LIU B,et al. Two-year study of biochar: Achieving excellent capability of potassium supply via alter clay mineral composition and potassium-dissolving bacteria activity[J]. Science of the Total Environment,2020,717:137286.
[75] 张祥,王典,姜存仓,等. 生物炭对我国南方红壤和黄棕壤理化性质的影响[J]. 中国生态农业学报,2013,21(8):979-984.
[76] 修立群. 生物炭对钾的固持和土壤钾素有效性的影响[D]. 沈阳:沈阳农业大学,2020.
[77] AMEDE T,LEGESSE G,AGEGNEHU G,et al. Short term fallow and partitioning effects of green manures on wheat systems in East African highlands[J]. Field Crops Research,2021,269:108175.
[78] MA D K,YIN L N,JU W L,et al. Meta-analysis of green manure effects on soil properties and crop yield in northern China[J]. Field Crops Research,2021,266:108146.
[79] 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.
[80] 钟梅. 不同绿肥还田腐解动态及其对土壤养分的影响[J]. 现代农业科技,2020(24):153-154,158.
[81] 张志强,王晓宇,王黎梅,等. 不同牧草品种用作绿肥对盐碱地土壤养分的影响[J]. 畜牧与饲料科学,2020,41(3):35-41.
[82] 黄国斌,谭克均,夏忠敏. 绿肥还田对耕地质量的影响[J]. 贵州农业科学,2018,46(3):67-70.
[83] 周德平,吴淑杭,褚长彬,等. 油菜绿肥还田对后茬水稻产量、稻田土壤理化性状及微生物的影响[J]. 上海农业学报,2020,36(5):68-73.
[84] 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.
[85] 史桂芳,董浩,朱国梁,等. 绿肥还田条件下化肥减施对土壤性状及花生产量的影响[J]. 山东农业科学,2020,52(11):65-68,79.
[86] 郭鹏. 苹果园种植绿肥翻压还田替代化肥施用量试验[J]. 农业科技与信息,2020(12):73-74.
[87] 魏全全,张萌,陈龙,等. 黄壤旱地豆科绿肥养分释放特征[J]. 草业科学,2021,38(1):63-69.
[88] 李忠义,韦彩会,何铁光,等. 不同还田方式下 2 种夏季绿肥的腐解特性[J]. 西南农业学报,2020,33(7):1554-1560.
[89] 丁倩. 绿肥翻耕配合催腐剂对花生土壤肥力及其产量的影响[J]. 新疆农业科技,2019(1):32-33.
[90] 杜为研,唐杉,汪洪. 我国有机肥资源及产业发展现状[J]. 中国土壤与肥料,2020(3):210-219.

Research Progress on the Effect of Different Organic Materials Returning on Soil Potassium

ZHAN Yu-man[1,2], HAO Xiao-yu[2], XIAO Yang[1]

(1. College of Modern Agriculture and Eco-Environment, Heilongjiang University, Harbin 150080; 2. Institute of Soil and Fertilizer and Environment Resources, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin 150086)

Abstract: In order to explore the effects of common organic materials on soil potassium form availability and crop growth, based on the types and application methods of common organic materials, this paper summarized the current application research status of organic materials, including straw, livestock manure, plant ash, biochar and green fertilizer, as well as the effects on different forms of potassium in soil and fertilizer efficiency, and put forward research prospect. There were significant differences in the effect of organic materials in different regions and soils. We should not only increase the amount of soil potassium, but also consider the bearing capacity of soil and crops, and comprehensively consider the application effect and return cost.

Keywords: organic material; return to field; fertilizer efficiency; soil potassium