

胡 雅,张卫华,马增辉. 不同改良材料作用下宅基地复垦土壤硝态氮运移研究[J]. 江苏农业科学,2017,45(19):302-305.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.19.071

不同改良材料作用下宅基地复垦土壤硝态氮运移研究

胡 雅,张卫华,马增辉

(陕西省土地工程建设集团有限责任公司/陕西地建土地工程技术研究院有限责任公司/
国土资源部退化及未利用土地整治重点实验室/陕西省土地整治工程技术研究中心,陕西西安 710075)

摘要:针对宅基地新复垦土壤耕作层养分含量低、保水保肥性能差的问题,在氮磷钾肥料平衡施用的前提下,通过田间定位试验,研究冬小麦生长季添加粉煤灰(TC)、有机肥(TF)、熟化剂(TS)、熟化剂+粉煤灰(TSC)、粉煤灰+有机肥(TFC)、熟化剂+有机肥(TSF)对复垦土壤硝态氮运移、累积情况与作物产量的影响。结果表明:添加熟化剂+有机肥和熟化剂+粉煤灰的处理能够促进表层撒施氮肥转化为硝态氮,添加有机肥易导致硝态氮向土壤深层运移,而添加粉煤灰则会减弱这一过程。熟化剂+有机肥处理在小麦生长初期耕作层能够储备较多的硝态氮,为后期小麦生长提供氮素。随着时间的推移,添加单一改良材料土壤较添加复合改良材料土壤硝态氮累积效应更为明显。添加有机肥和熟化剂在复垦生土熟化过程中对小麦增产有重要作用,有机肥能有效减少小麦空秆率,提高成穗数,粉煤灰在土壤熟化过程中对小麦增产作用不大,添加熟化剂+有机肥是处理宅基地复垦土壤熟化较为优良的改良方法。

关键词:复垦土壤;有机肥;粉煤灰;熟化剂;硝态氮

中图分类号: S153.6 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2017)19-0302-04

宅基地复垦是指依据土地利用总体规划、土地整理复垦开发规划,对依法取得的利用效益不高或废弃的宅基地复垦为耕地的行为^[1]。工程复垦过程中采用的工程治理措施主

要是挖填填实或剥离表土,新复垦土地中耕作层土壤大多是未经过生物作用和腐殖化过程的自然土^[2],其生土裸露、土壤贫瘠、养分含量低、保水保肥性能差,这种情况加剧了人地、人粮矛盾,制约经济发展。因此,对废弃宅基地进行复垦熟化已经迫在眉睫。

土壤熟化剂是含有作物所需的各种微量元素,无毒、无污染,对生土、瘠薄、板结土壤有较强的熟化、改良作用的无机胶体,它的主要有效成分是硫酸亚铁。施用土壤熟化剂可通过直接和间接效应,降低土壤容重,增加土壤孔隙度,疏松土壤,提高土壤养分,改善土壤结构和土壤水分环境。柳燕兰等研究

收稿日期:2017-03-15

基金项目:陕西省重点科技创新团队计划项目(编号:2016KCT-23)。

作者简介:胡 雅(1990—),女,陕西商洛人,硕士,助理工程师,主要从事土地工程、土壤水肥调控、土地信息化研究。E-mail: Huya0403@163.com。

[6]杨启良,武振中,陈金陵,等. 植物修复重金属污染土壤的研究现状及水肥调控技术展望[J]. 生态环境学报,2015,24(6):1075-1084.

[7]鲍 桐,廉梅花,孙丽娜,等. 重金属污染土壤植物修复研究进展[J]. 生态环境,2008,17(2):858-865.

[8]陈默君,贾慎修. 中国饲用植物[M]. 北京:中国农业出版社,2002:253-255.

[9]苏芳莉,周 欣,陈佳琦,等. 芦苇湿地生态系统对造纸废水中铅的净化研究[J]. 中国环境科学,2011,31(5):768-773.

[10]路 畅,王英辉,杨进文. 广西铅锌矿区土壤重金属污染及优势植物筛选[J]. 土壤通报,2010,41(6):1471-1475.

[11]郑冬梅,孙丽娜,张秀武,等. 化工污染河流沿岸植物对砷、汞的累积作用比较[J]. 生态环境学报,2009,18(3):831-833.

[12]董志成,鲍征宇,谢淑云,等. 湿地芦苇对有毒重金属元素的抗性吸收和累积[J]. 地质科技情报,2008,27(1):80-84.

[13]赵善道,赵雪琴,左 平,等. 湿地植物芦苇(*Phragmites australis*)的重金属富集能力与评价[J]. 海洋环境科学,2014,33(1):60-65.

[14]王 东,黄振东,王 昭,等. 不同胁迫条件下芦苇对污染物的去除及其生长响应研究[J]. 首都师范大学学报(自然科学版),2013,34(6):22-32.

[15]杨金红. 砷污染土壤的生物修复研究进展[J]. 江西农业学报,2012,24(3):125-127.

[16]周振民,朱彦云. 土壤重金属污染大生物量植物修复技术研究进展[J]. 灌溉排水学报,2009,28(6):26-29.

[17]罗艳丽,余艳华,郑春霞,等. 新疆奎屯垦区土壤砷含量及耐砷植物的筛选[J]. 干旱区资源与环境,2010,24(2):192-194.

[18]陈 歆. 北固山湿地优势植物的光合作用特性及人工修复技术研究[D]. 镇江:江苏大学,2005.

[19]蒋汉明. 川芎 GAP 基地复合污染土壤中砷的植物修复研究[D]. 成都:成都理工大学,2010.

[20]王 勇. 不同土壤砷浓度对文山三七品质的影响及稳定化修复效果评价[D]. 北京:中央民族大学,2015.

[21]赵丹博,曹 诣,余 玮,等. 镉、砷复合污染对苧麻生长及吸收镉、砷的影响[J]. 中国麻业科学,2015,37(4):183-188.

[22]邹小丽,周 源. 柳树对砷的吸收和运转及对砷污染土壤修复效果研究[J]. 江西理工大学学报,2014,35(3):7-12.

[23]常思敏,贾东坡,田志强,等. 不同施砷量对烤烟砷吸收、积累及分布的影响[J]. 河南农业大学学报,2006,40(5):486-489.

[24]江行玉,赵可夫. 铅污染下芦苇体内铅的分布和铅胁迫相关蛋白[J]. 植物生理与分子生物学学报,2002,28(3):169-174.

表明,施用土壤熟化剂可改善土壤理化性状,提高作物产量^[3]。

粉煤灰含有多种植物所需的营养成分,如镁、钾、硼等,其颗粒大小不等、形状不一,内有蜂窝状结构^[4]。粉煤灰施入土壤,可以明显改善土壤结构,且能降低容重,增加孔隙度,提高地温,缩小膨胀率,增强微生物活性,为土壤养分转化、保湿保墒、水肥气热协调创造良好生态环境^[5-6]。粉煤灰的物理性质与沙壤土相似,因此根据质地改良原则,施用适量的粉煤灰对黏土、沙土等均可起到改良作用,以改良黏土的效果为好。

施用有机肥能够为农作物提供比较全面的养分,保持土壤中微量元素平衡,促进微生物繁殖,降低重金属污染风险,维持和提高地力进而增加产量。有研究表明,有机肥氮代替 50% 化肥氮可促进作物氮吸收及氮转移,有机肥 + 无机肥 + 菌肥可显著提高土壤硝态氮含量^[7-8]。

单一添加改良材料改善土壤质量的方法历史比较悠久,并取得不少成果,但可能带来理化生性质不平衡的问题,不同改良材料造成不同程度的负面影响,因此,采用改良材料配合施用正成为研究热点。国内关于有机肥、粉煤灰、熟化剂对不同地区、不同类型土壤氮素硝化作用影响的研究较多^[9-10],但是针对宅基地复垦土壤,不同改良材料单施与配合施用的情况下,硝态氮变化情况的研究较为少见。本试验以宅基地复垦 1 年的重建土壤为供试对象,通过田间试验研究不同改良材料对土壤硝态氮的影响机制,结合作物产量分析复垦土壤的肥力提升技术,以期为宅基地复垦土壤熟化方法及农业可持续发展提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验设置于陕西省渭南市富平县杜村镇褚源村。该区属暖温带半湿润气候,年平均降水量 472.97 mm,7—9 月降水量占全年降水量 49%,年蒸发量为 1 000 ~ 1 300 mm,无霜期 225 d,年平均气温 13.40 ℃,夏季最高气温 41.80 ℃,冬季最低气温 -22 ℃,年光能辐射总量 518.6 ~ 535.0 kJ/cm²。

1.2 试验设计

试验于 2015 年 6 月开始,为模拟项目实施区废弃宅基地整治还田的土地状况,试验小区规格为 2 m × 2 m,在原位试验土壤向下挖掘 30 cm 的基础上,回填厚度为 30 cm 的生土,容重控制在 1.5 ~ 1.6 g/cm³,试验所用生土是来自澄城县洛子河村废弃宅基地拆旧土。

将改良材料均匀施在地表,人工混合均匀。陕西山地丘陵地区空心村多为碱性土壤(pH 值一般在 8.4 ~ 8.7 之间),选择施用主要成分为硫酸亚铁的熟化剂,当地有较多工厂,粉煤灰来源较为方便。试验改良材料选用有机肥、熟化剂和粉煤灰,采用单一和两两交叉混合的方式,设计出 7 组试验,且每组试验重复 3 次,试验设计见表 1。

试验小区于 2015 年 10 月 20 日种植冬小麦,品种为小偃 22,播种量 105 kg/hm²,根据播前土壤养分含量,播种时施磷酸二铵 750 kg/hm²、尿素 600 kg/hm²。

1.3 样品采集与处理

于 2015 年 11 月 13 日、2015 年 12 月 22 日和 2016 年 3 月 11 日在各试验小区进行样品采集,0 ~ 105 cm 土层分层取土,每隔 15 cm 采集 1 个土样,采用 3 点混合的方法,将混合

表 1 试验设计

序号	处理	代号	施用量
1	熟化剂	TS	600 kg/hm ²
2	有机肥	TF	22.5 m ³ /hm ²
3	粉煤灰	TC	300 m ³ /hm ²
4	熟化剂 + 有机肥	TSF	600 kg/hm ² + 22.5 m ³ /hm ²
5	粉煤灰 + 有机肥	TFC	300 m ³ /hm ² + 22.5 m ³ /hm ²
6	熟化剂 + 粉煤灰	TSC	600 kg/hm ² + 300 m ³ /hm ²
7	对照(无培肥措施)	T0	0

后样品缩分至 1.5 kg,风干后过 1 mm 筛,供分析测定。采用 AA3 型流动分析仪测定土样硝态氮含量,具体方法是:称取 10 g 新鲜土样,用 50 mL 的 0.01 mol/L 的 KCl 溶液浸提振荡 30 min,静置 10 min,过滤,取上清液上机测定。

于 2016 年 5 月 30 日对冬小麦采样测产,产量按小区单收单打测产。

1.4 数据处理

采用 Microsoft Excel 对数据、图表进行处理,采用 SPSS (PASW Statistics 18) 统计分析软件对数据进行统计分析, LSD 法进行多重比较。

2 结果与讨论

2.1 不同改良材料硝态氮垂直剖面分布

以第一季冬小麦生长季硝态氮分布为例,分析不同改良材料下硝态氮垂直剖面分布。由图 1 可以看出,土壤垂直方向 30 cm 深度处为各处理硝态氮含量变化转折点。

2015 年 11 月 13 日,施肥过后 24 d,各处理硝态氮沿深度方向呈现出先增大后减小的趋势,在 30 cm 处产生峰值,且上层差异最大,随着土壤深度的增加其差异逐渐降低。0 ~ 15 cm 土层,硝态氮含量 TSF > TSC > TS > T0 > TFC > TF > TC; 15 ~ 30 cm 土层,硝态氮含量 TSF > TSC > T0 > TFC, TSF 硝态氮含量 46.32 mg/kg, TS、TF、TC 与 T0 硝态氮含量差异不大。说明在小麦生育早期添加熟化剂 + 有机肥和熟化剂 + 粉煤灰较单施改良材料能够促进表层撒施氮肥转化为硝态氮,这是因为熟化剂和有机肥相互配合使土壤结构疏松,加速微生物新陈代谢活动,有利于硝态氮快速转化^[5,8],有机肥能活化土壤中潜在养分,能极大地提高土壤生物多样性和土壤生物学活性^[11],氮素固持在微生物体内免遭流失。30 ~ 105 cm 土层各处理间硝态氮含量除 TSF 处理硝态氮含量较高外,其他处理均较低,且各处理间差异不大。

2015 年 12 月 22 日,施肥过后 63 d, 0 ~ 15 cm 土层各处理间硝态氮含量无显著差异,与苗期测定结果相比, 15 ~ 30 cm 土层, TSF、TSC 与 T0 硝态氮含量无显著增加, TC、TS、TF 硝态氮含量有明显提升,这可能是由于 12 月初降雨将表层硝态氮向下冲洗,复合改良材料较单一改良材料土壤保水效果好,硝态氮运移量较小。土壤垂直剖面上 TF 与 TSF 硝态氮含量分布总体表现出 4 个分区(即硝态氮增大区、硝态氮减小区、硝态氮二次增大区、硝态氮二次减小区),呈现出“S”形分布曲线,土壤剖面上层硝态氮集中分布区减小,在土壤剖面深层出现一个相对较小的硝态氮二次集中分布区^[12-13]。TF 累积峰分别出现在 30 cm 土层和 75 cm 土层,且 TF 较 TSF“S”曲线靠右,说明单施有机肥较施用熟化剂 + 有

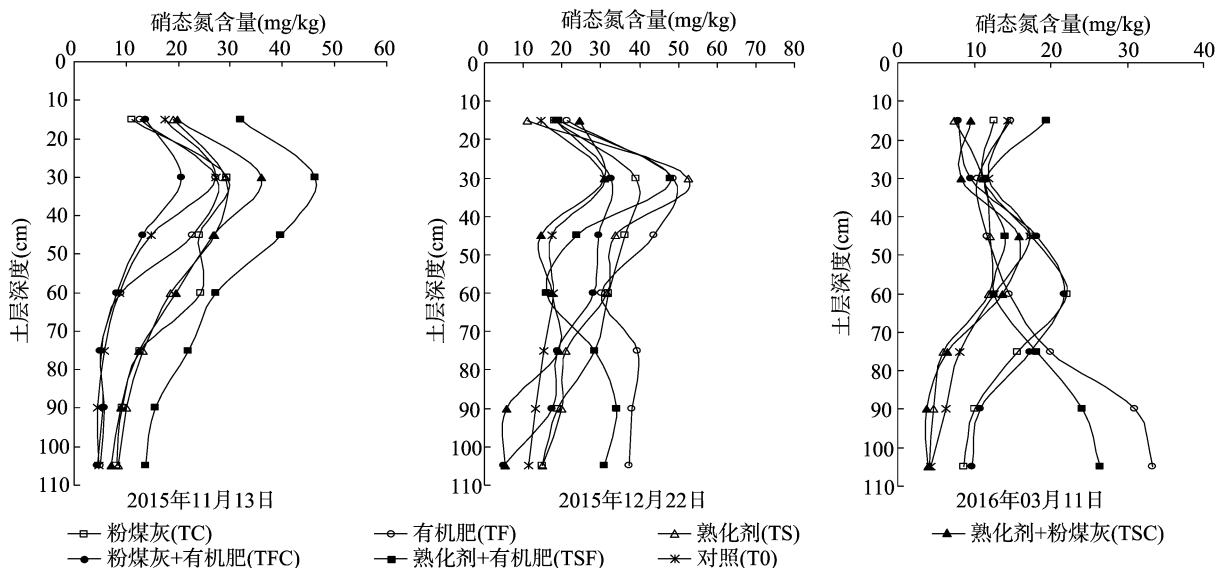


图1 硝态氮垂直剖面分布

机肥易导致硝态氮向土壤深层运移。由于粉煤灰颗粒级配与土壤存在显著差异,即表层土与充填基质的孔隙差别大,而颗粒本身具有强吸附能力^[14],保水能力强,故 TC 处理 30 cm 以下土层沿深度方向硝态氮含量逐渐减少。

2016 年 3 月 11 日,施肥过后 143 d,小麦处于拔节期,对土壤水分和氮素的需求量巨大。0 ~ 15 cm 土层硝态氮含量与越冬前土壤硝态氮含量差异不大,而 15 ~ 30 cm 土层硝态氮含量大幅度降低,平均含量由 40.42 mg/kg 降低至 10.56 mg/kg,这是因为小麦分蘖后根系集中分布在 30 cm 及以上土层,受土壤蒸发和作物吸收的影响,部分硝态氮在毛细管力作用下随水分向表层迁移,部分硝态氮满足作物对氮素的需求。T0、TS、TSC 在 45 cm 土层处产生累积峰,TC、TFC 在 60 cm 土层处产生累积峰,TF、TSF 硝态氮累积峰降低至 90 ~ 105 cm,峰值位置下移,说明添加熟化剂较添加粉煤灰较添加有机肥易导致硝态氮向深层运移,减少土壤对作物后期的氮供应能力。这种现象在不发生大型降雨与大量灌水条件下,累积至土壤深层的硝态氮可以作为下一季作物氮素利用的后备资源,如果发生较大降雨灌溉,这些硝态氮向更深层次迁移,淋失至根系以外成为作物不可利用氮,也成为土壤氮素污染源^[15]。

2.2 不同改良材料 0 ~ 30 cm 土层硝态氮累积量

硝态氮累积总量表征土壤可被作物利用的氮素数量^[16]。土壤 0 ~ 30 cm 土层硝态氮累积量反映了土壤耕作层对作物的供氮能力,以 2015 年冬小麦生长季 0 ~ 30 cm 土层硝态氮累积量为例,分析不同改良材料下土壤硝态氮累积与变化情况,结果见图 2。

苗期,0 ~ 30 cm 土层硝态氮累积量 TSF 处理最高,累积量为 138.61 mg/kg。单施改良材料 TC、TF、TS 处理与 T0 无显著差异,复合改良材料 TSF > TSC > TFC,且 TFC、TSC 与 T0 存在显著差异,TSF 和 TSC 分别较 T0 高出 59.3 mg/kg 和 19.05 mg/kg。说明熟化剂 + 有机肥处理在小麦生长初期耕作层能够储备较多的硝态氮,为后期小麦生长提供氮素。

越冬期 0 ~ 30 cm 土层硝态氮累积量单施改良材料 TF、TS、TC 较 T0 分别提高了 36%、29%、21%,复合改良材料 TSF、TSC、TFC 较 T0 分别提高 38%、18%、10%,TSF 累积量最高,为

118.78 mg/kg。说明随着时间的推移施用单一改良材料土壤较施用复合改良材料土壤硝态氮累积效应提升更快。

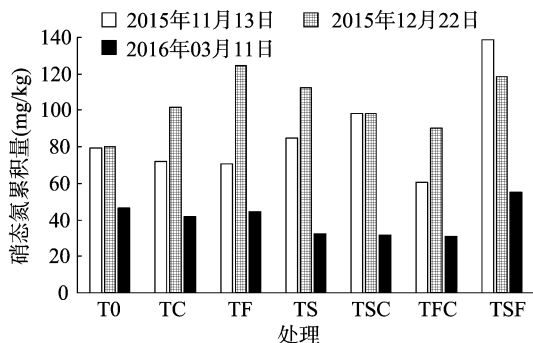


图2 0~30 cm 土层硝态氮累积量

拔节期 0 ~ 30 cm 土层硝态氮累积量较越冬期急剧减少,与越冬期硝态氮累积量相比,单施改良材料处理平均减少 73.04 mg/kg,施用复合改良材料处理平均减少 63.29 mg/kg。TF、TSF 处理与 T0 存在显著性差异,其他处理无显著性差异。说明改良材料中有机肥对 0 ~ 30 cm 土层硝态氮累积没有显著效果。

2.3 不同改良材料对冬小麦产量的影响

改良材料中含有丰富的植物必需或有益的矿质营养,不仅改变土壤理化性质,还为作物提供生长所需的营养元素,能够刺激或促进作物生长,其改良结果最终体现在作物产量上。本研究施用不同配方的土壤改良材料不同程度上提高了作物产量。不同改良材料对冬小麦产量及其构成因素的影响见表 2。

无改良措施的对照小麦产量最低,仅 4 269 kg/hm²。施用有机肥 + 熟化剂能够显著提升小麦产量,TSF 较 T0 增产 1 413 kg/hm²,较其他改良材料处理产量提高了 14% ~ 28%。单施改良材料时,产量 TF > TS > TC,施用复合改良材料时,产量 TSF > TFC > TSC,可见有机肥和熟化剂在生土熟化过程中对小麦增产有重要作用。此外,单施粉煤灰与施用熟化剂 + 粉煤灰处理小麦产量差异较小,说明粉煤灰在土壤熟化过程中对小麦增产作用不大。

从产量构成上来看,TF、TSF 处理小麦穗数较 T0 分别增

表 2 不同改良材料对冬小麦产量及其构成因素的影响

处理	穗数 (万/hm ²)	穗粒数	千粒质量 (g)	产量 (kg/hm ²)
TC	644 ± 4.37	38.33 ± 3.61	54.75 ± 0.58	4 479 ± 775
TF	653 ± 5.70	42.00 ± 3.65	54.95 ± 1.11	4 971 ± 567
TS	577 ± 4.00	43.66 ± 4.08	55.00 ± 0.74	4 578 ± 803
TSC	568 ± 5.40	43.33 ± 4.89	55.20 ± 0.83	4 455 ± 539
TFC	596 ± 14.00	41.33 ± 5.66	52.40 ± 1.16	4 698 ± 619
TSF	666 ± 10.14	44.67 ± 6.47	52.50 ± 1.19	5 682 ± 625
T0	542 ± 4.96	43.00 ± 4.36	54.60 ± 0.75	4 269 ± 910

加 20%、23%，有显著提高，说明施有机肥能有效减少小麦空秆率，提高了小麦成穗数。单施粉煤灰对小麦穗数有显著提高，但穗粒数降低，其他处理穗粒数与 T0 相比无显著性差异。各处理间千粒质量无显著性差异。综上所述，施用熟化剂 + 有机肥是宅基地复垦土壤熟化较为优良的改良方法。

2.4 硝态氮累积量与小麦产量的关系

在其他条件相对一致情况下，硝态氮累积量可以表征土壤的供氮水平，硝态氮累积量高者，冬小麦产量必高，硝态氮累积量与产量存在显著的正相关关系。为验证此结论，确定不同土层深度硝态氮对冬小麦产量的贡献，计算了 0 ~ 30 cm、0 ~ 75 cm、0 ~ 105 cm 土层的硝态氮累积量，拟合了冬小麦收获后不同土层深度硝态氮累积量与产量的关系，结果见表 3。

表 3 不同土层深度硝态氮累积量与产量及其组成的相关系数

产量及组成	生育期	0 ~ 30 cm	0 ~ 75 cm	0 ~ 105 cm
穗数	苗期	0.281	0.428	0.444
	越冬期	0.743	0.727	0.812 *
	拔节期	0.534	0.692	0.864 *
穗粒数	苗期	0.68	0.483	0.472
	越冬期	0.262	-0.262	-0.060
	拔节期	0.229	-0.505	-0.097
千粒质量	苗期	-0.293	-0.201	-0.221
	越冬期	-0.052	-0.147	-0.018
	拔节期	-0.24	-0.552	-0.410
产量	苗期	0.687	0.661	0.672
	越冬期	0.698	0.364	0.577
	拔节期	0.604	0.421	0.734

各层次硝态氮累积量与冬小麦穗数有一定的正相关关系，在小麦生长后期 0 ~ 105 cm 土层呈现显著正相关，随着生育期的进展，相关系数先增大后减小。浅层硝态氮累积量与穗粒数呈正相关，深层硝态氮累积量与穗粒数在生长后期呈负相关，0 ~ 105 cm 土层在越冬期和拔节期无线性相关关系。各层次硝态氮累积量与千粒质量呈负相关，相关性较弱，随着生育期的进展，相关系数先减小后增大。各层次硝态氮累积量与产量呈正相关，随着深度的增加，相关系数先减小后增大。这表明硝态氮累积量大的土层能提供更丰富的氮素，对小麦产量贡献大，但并不是整个生育期都能够利用全部的氮素，相对而言，苗期 0 ~ 30 cm 土层硝态氮累积量对产量及其组成影响最大。

3 结论

施用熟化剂 + 有机肥和熟化剂 + 粉煤灰较单施改良材料

能够促进表层撒施氮肥转化为硝态氮。施有机肥易导致硝态氮向土壤深层运移，而施粉煤灰则会减弱这一过程。

施用熟化剂 + 有机肥在小麦生长初期耕作层能够储备较多的硝态氮，为后期小麦生长提供氮素。随着时间的推移，施用单一改良材料土壤较施用复合改良材料土壤硝态氮累积效应更为明显。

施用有机肥和熟化剂在复垦生土熟化过程中对小麦增产有重要作用，有机肥能有效减少小麦空秆率，提高成穗数，粉煤灰在土壤熟化过程中对小麦增产作用不大，施用熟化剂 + 有机肥是宅基地复垦土壤熟化较为优良的改良方法。

硝态氮累积量与冬小麦穗数有一定的正相关关系；与千粒质量呈负相关，相关性较弱；与产量呈正相关，随着深度的增加，在 0 ~ 75 cm、0 ~ 105 cm 土层相关系数先减小后增大。

参考文献：

- [1] 黄耀华,王 侃,苏婷婷,等. 重庆农村土壤型复垦宅基地土壤肥力特征及改造利用研究[J]. 西南大学学报(自然科学版),2015,37(1):33-39.
- [2] 常 勃,李建华,卢朝东,等. 微生物复垦技术在矿区生态重建中的应用[J]. 山西农业科学,2012,40(10):1071-1074.
- [3] 柳燕兰,郭贤仕,姜小凤,等. 不同配方土壤熟化调理剂对新修梯田土壤改良效果的影响[J]. 干旱地区农业研究,2016,34(4):139-145.
- [4] 汪海珍,徐建民,谢正苗,等. 粉煤灰对土壤和作物生长的影响[J]. 土壤与环境,1999,8(4):305-308.
- [5] 赵 亮,唐泽军,刘 芳. 粉煤灰改良沙质土壤水分物理性质的室内试验[J]. 环境科学学报,2009,29(9):1951-1957.
- [6] 赵挺洁,白耀东. 粉煤灰在改良土壤中的应用研究[J]. 环境与发展,2011(11):139-140.
- [7] 谢 军,赵亚南,陈轩敬,等. 有机肥氮替代化肥氮提高玉米产量和氮素吸收利用效率[J]. 中国农业科学,2016,49(20):3934-3943.
- [8] 梁利宝,闫 峰,许剑敏. 不同培肥处理对采煤塌陷区复垦土壤氮素形态的影响[J]. 水土保持学报,2016,30(1):262-266.
- [9] 闫俊杰,乔 木,田长彦,等. 不同培肥方式对伊犁新垦区淡灰钙土的熟化效果[J]. 干旱区研究,2013,30(1):29-34.
- [10] 高亚军,李 云,李生秀,等. 旱地小麦不同栽培条件对土壤硝态氮残留的影响[J]. 生态学报,2005,25(11):2901-2910.
- [11] 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.
- [12] 王春阳,周建斌,郑险峰,等. 不同栽培模式对小麦—玉米轮作体系土壤硝态氮残留的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2007,13(6):991-997.
- [13] 费良军,韩雪冬,贾丽华,等. 膜孔灌对玉米不同生育期农田土壤硝态氮运移的影响[J]. 沈阳农业大学学报,2008,39(5):598-602.
- [14] 段喜明,吴普特,王春红,等. 人工降雨条件下施加粉煤灰对耕作土壤结构和水土流失的影响研究[J]. 农业工程学报,2006,22(8):50-53.
- [15] 俄胜哲,黄 涛,王亚男,等. 渭河上游地区温室菜地土壤肥力演变特征研究[J]. 干旱地区农业研究,2016,34(5):205-209.
- [16] 苗艳芳,李生秀,扶艳艳,等. 旱地土壤铵态氮和硝态氮累积特征及其与小麦产量的关系[J]. 应用生态学报,2014,25(4):1013-1021.