

# 不同调酸型土壤调理剂在萝卜-芹菜轮作上的改良效果

卢运艳<sup>1,2</sup> 张广忠<sup>1</sup> 徐勤政<sup>1</sup> 陈祥福<sup>1,2</sup> 刘伟<sup>1,2</sup> 解学仕<sup>1</sup> 刘兆辉<sup>3</sup>

1 史丹利农业集团股份有限公司 临沭 276700

2 功能性生物肥料国家地方联合工程实验室 临沭 276700

3 山东省农业科学院 济南 250100

**摘要:** 在酸性土壤上,研究了不同调酸型土壤调理剂对萝卜-芹菜轮作农艺性状和化学性质的影响。设4个处理:CK、石灰+风化煤(I)、氢氧化钾+风化煤(II)、硅钙钾镁(III)。结果表明:在萝卜产量提升上,石灰+风化煤和硅钙钾镁分别使萝卜增产10.3%和12.6%,而氢氧化钾+风化煤萝卜增产效果不明显。从芹菜的叶绿素、株高、茎粗及产量来看,石灰+风化煤在芹菜的生长上表现最优,其次是硅钙钾镁,再次是氢氧化钾+风化煤,对照基本绝产。萝卜-芹菜轮作后,在改良土壤的pH值和交换性酸上,与对照比,石灰+风化煤、硅钙钾镁可使土壤pH值提高0.42、0.11个单位,而氢氧化钾+风化煤施用后土壤出现了一定的复酸化现象;在土壤养分上,与对照比,施用土壤调理剂的各处理均提高了酸性土壤的硝态氮、有效磷、速效钾和有机质含量。

**关键词:** 调酸型土壤调理剂 萝卜-芹菜轮作 改良效果

中图分类号: TQ314.1, S156.2

文章编号: 1671-9212(2021)04-0032-07

文献标识码: A

DOI: 10.19451/j.cnki.issn1671-9212.2021.04.006

The Improvement Effect of Different Acid-Regulating Soil Conditioners on Radish-Celery Rotation

Lu Yunyan<sup>1,2</sup>, Zhang Guangzhong<sup>1</sup>, Xu Qinzhen<sup>1</sup>, Chen Xiangfu<sup>1,2</sup>, Liu Wei<sup>1,2</sup>, Xie Xueshi<sup>1</sup>, Liu Zhaoxue<sup>3</sup>

1 Stanley Agricultural Group Co. Ltd., Linshu, 276700

2 National-Local Joint Engineering Laboratory of Functional Biological Fertilizer, Linshu, 276700

3 Shandong Academy of Agricultural Sciences, Jinan, 250100

**Abstract:** Experiments of different acid-regulating soil conditioners on the effects of agronomic traits and chemical properties on radish-celery rotation were studied in acid soil. 4 treatments were set: CK; treatment with lime and weathered coal (I); treatment with potassium hydroxide and weathered coal (II); treatment with Silicon-Calcium-Potassium-Magnesium (III). The results showed that treatment I and III increased the yield of radish by 10.3% and 12.6% respectively, while there was no obvious effect in treatment II. The performance of celery growth were I>III>II by testing chlorophyll, plant height, stem diameter and yield. The CK treatment basically had no yield. After the radish-celery rotation, compared with CK, pH value of soil increased by 0.42, 0.11 units in treatment I and III, while treatment II showed some reacidification phenomenon. Compared with CK, the contents of nitrate nitrogen, available phosphorus, available potassium and organic matter of the acid soil were increased by all treatments.

**Key words:** acid-regulating soil conditioner; radish-celery rotation; improvement effect

[基金项目] 2019年度山东省重大科技创新工程(项目编号2019JZZY010701)。

[收稿日期] 2020-10-22

[作者简介] 卢运艳,女,1989年生,中级农艺师,主要从事新型肥料开发及其肥效研究工作,E-mail: luyunyan@shidanli.cn。



土壤酸碱性是由母质、生物、气候以及人为因素等多种因子综合作用的结果。土壤酸化是指在多雨的自然条件下,降雨量远超过蒸发量,在强烈的土壤及其母质的淋溶作用下,土壤中的盐基离子易向下移动, $H^+$ 被土壤吸附,使土壤盐基饱和度下降、氢饱和度增加,引起土壤酸化<sup>[1]</sup>。

土壤的酸碱缓冲能力较强,在自然条件下的酸化速度非常缓慢,但随着农业集约化种植程度的提高、化肥施用量的加大及酸沉降的增加,土壤酸化日益加剧,已成为我国农业生产的主要土壤障碍因子,是土壤质量退化的重要表现形式,严重制约了我国农业的可持续发展<sup>[2, 3]</sup>。

土壤酸化可导致Ca、Mg等大量盐基离子淋失、土壤理化性质恶化、重金属活性提高、土壤微生物活性降低,土壤中溶出大量的 $Al^{3+}$ 会抑制作物生长、导致作物减产<sup>[2, 4]</sup>。研究较多、效果较好的调酸型土壤调理剂主要有石灰类物质<sup>[5~9]</sup>、硅钙矿物类、磷矿粉、碱渣和粉煤灰类等无机物<sup>[10~16]</sup>以及腐植酸等有机物类<sup>[17]</sup>,但有机无机复合改良技术比单施其中一种的效果更好<sup>[2]</sup>。风化煤中含有丰富的再生腐植酸资源<sup>[18]</sup>,腐植酸可以用来修复改良土壤。目前,调酸型土壤调理剂对轮作尤其根茎类-叶菜类轮作的研究鲜有报道。本文在现有调理剂研究的基础上,通过施用石灰+风化煤、氢氧化钾+风化煤及硅钙钾镁3类土壤调理剂确保其 $pH > 12$ 的前提下,在萝卜-芹菜轮作上开展对比试验,以期对不同调酸型土壤调理剂在酸性土壤改良上的应

用和推广提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验时间和地点

于2020年2月20日—4月14日种植萝卜(红头白根),生长期54天,萝卜品种为“半夏”。芹菜5月6日育苗,5月18日移栽,7月9日收获,生长期52天,芹菜品种为“津芹”。

试验地点为山东省临沂市临沭县史丹利农业集团股份有限公司生态示范园连栋温室。

1.2 试验材料

试验地土壤为棕壤,基本性质: $pH$ 值4.92,交换性酸0.7 cmol/kg,有机质3 g/kg,电导率EC值25.80 mS/m,硝态氮29.55 mg/kg,有效磷78.20 mg/kg,速效钾82.58 mg/kg,钙568.24 mg/kg,镁75.92 mg/kg,铁86.74 mg/kg,锰57.47 mg/kg,铜1.42 mg/kg,锌2.22 mg/kg。

调理剂I:石灰+风化煤;调理剂II:氢氧化钾+风化煤;调理剂III:硅钙钾镁。调理剂I~III均为实验室自制,风化煤来源于山西省灵石县,总腐植酸含量 $\geq 60\%$ 。供试调酸型土壤调理剂的基本性质见表1。

根据萝卜及芹菜不同需肥情况,设置氮磷钾配比分别为25-14-10、16-11-23和20-20-20的水溶性大量元素肥料作为追肥,其原料均为尿素、磷酸一铵、硫酸钾、硝酸钾和磷酸二氢钾几种复配而成。

表1 供试调酸型土壤调理剂的基本性质  
Tab.1 Basic properties of acid-regulating soil conditioner

| 调理剂 | pH   | K <sub>2</sub> O (%) | CaO (%) | MgO (%) | 有机质 (%) | 总腐植酸含量 (%) | SiO <sub>2</sub> (%) |
|-----|------|----------------------|---------|---------|---------|------------|----------------------|
| I   | 12.0 | —                    | 24.0    | —       | 56.0    | 42.0       | —                    |
| II  | 12.0 | 6.6                  | —       | —       | 75.0    | 54.0       | —                    |
| III | 12.0 | 3.0                  | 20.2    | 7.4     | —       | —          | 19.0                 |

1.3 试验设计

本试验采用盆栽试验,共设4个处理:对照(CK),不施用土壤调理剂;石灰+风化煤(I);氢氧化钾+风化煤(II);硅钙钾镁(III)。其中

处理II的速效和强碱特性直接影响作物的耐受度,且已做过实验室小试验证,结果表明处理II用量10 kg/667 m<sup>2</sup>与处理I和III用量40 kg/667 m<sup>2</sup>改良土壤酸度的效果相当,故施用量设置为10 kg/667 m<sup>2</sup>。

试验方案见表2。

表2 试验方案  
Tab.2 Experimental scheme

| 处理  | 调理剂用量 (kg/667 m <sup>2</sup> ) |
|-----|--------------------------------|
| CK  | 0                              |
| I   | 40                             |
| II  | 10                             |
| III | 40                             |

萝卜盆栽试验：每个处理10次重复，每盆装土8 kg，加入土壤调理剂后，将其充分混合均匀，且不施其他底肥，然后浇透水过夜后播种，萝卜种子8粒/盆，出苗后间苗2次，每盆仅留1株，生长54天后收获，期间共追肥3次，稀释倍数为1000倍，于3月5日进行第一次追肥，氮磷钾配比为25-14-10，追肥量为0.26克/盆，3月20日和4月3日进行第二次和第三次追肥，追肥氮磷钾配比为16-11-23，追肥量为0.53克/盆。

芹菜盆栽试验：收获萝卜后的各处理加入土壤调理剂后，充分混合均匀，且不施其他底肥，所有处理挑选大小均一的芹菜幼苗，每盆1株，移栽后浇水定植，生长52天后收获，期间共追肥4次，氮磷钾配比均为20-20-20，5月25日第一次追肥，追肥量为0.26克/盆，后3次追肥日期分别为6月5日、6月15日、6月24日，追肥量均为0.53克/盆。

## 1.4 指标测定与方法

### 1.4.1 生长指标测定

萝卜直径：采用游标卡尺测量萝卜最粗处所得，精确到mm。

萝卜单长：采用钢尺量取肉质根膨大部分的长度所得，精确到cm。

萝卜单根重：采用百分之一天平测得的整个地下肉质根部分的重量，精确到g。

芹菜株高：采用钢尺从芹菜茎基部至叶片最高点所得，精确到cm。

芹菜茎粗：采用游标卡尺测量芹菜茎基部所得，精确到mm。

芹菜地上鲜重：采用百分之一天平测得的整个

地上茎叶部分的重量，精确到g。

芹菜地下鲜重：采用百分之一天平测得的整个地下根系部分的重量，精确到g。

叶绿素：应用SPAD-502Plus叶绿素含量测定仪进行，每株测量6次取平均值。

### 1.4.2 土壤样品指标测定

pH值用酸度计(PB-10)检测，土壤交换性酸采用林业行业标准《森林土壤交换性酸度的测定》(LY/T 1240-1999)测定。硝态氮、有效磷用流动注射分析仪(FIA)检测，速效钾用电感耦合等离子发射光谱仪(ICP)检测，有机质采用容量法OM设备(LOI Weighter)检测。

### 1.4.3 数据分析

采用Excel 2016和SPSS 19.0软件对试验数据进行处理和统计分析，采用Duncan法检验进行差异性分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 调酸型土壤调理剂对萝卜-芹菜轮作生长发育的影响

#### 2.1.1 调酸型土壤调理剂对萝卜生长发育的影响

由表3可知，与对照相比，各处理间萝卜的叶绿素含量并无显著差异；从萝卜单长上看，处理II表现最好，与对照间有显著差异，增加11.1%；萝卜直径上，对照和处理III表现较好，处理I次之，处理II表现最差，处理II与其他处理间均存在显著差异。从萝卜长宽比及单根重来看，处理III更有利于萝卜的横向生长，即促进萝卜增粗，处理III单根重比对照提高12.6%；而处理II更有利于萝卜的纵向生长，但与对照相比未增重；处理I萝卜长宽比为2.96，比对照增重10.3%。

#### 2.1.2 调酸型土壤调理剂对芹菜生长发育的影响

由表4可知，处理II芹菜的叶绿素含量最低，其他处理叶绿素含量都高于对照。从叶绿素、株高及茎粗来看，总体上各处理间处理I表现最好，其次是处理III，处理II表现较差。株高、茎粗在一定程度上直接决定着芹菜的地上鲜重，故芹菜地上鲜重的表现与株高、茎粗的表现趋势一致。从芹菜



地下鲜重来看，石灰+风化煤与硅钙钾镁调理剂的促生长效果无显著性差异。不施用调理剂的对照，芹菜基本绝产，说明对酸性土壤越敏感的作物，施用调酸型土壤调理剂效果越显著。

表 3 调酸型土壤调理剂对萝卜生长发育的影响  
Tab.3 Effects of acid-regulating soil conditioner on the growth of radish

| 处理  | 叶绿素 SPAD | 单长 (cm)  | 直径 (cm) | 长宽比  | 单根重 (g)  |
|-----|----------|----------|---------|------|----------|
| CK  | 45.81a   | 138.26b  | 50.53a  | 2.74 | 179.79b  |
| I   | 42.68a   | 145.58ab | 49.17ab | 2.96 | 198.30ab |
| II  | 45.41a   | 153.62a  | 28.68c  | 5.36 | 177.22b  |
| III | 44.52a   | 145.23ab | 52.50a  | 2.77 | 202.44a  |

注：表中数据在萝卜收获期（生长 54 天后）测得。同列数据中不同小写字母表示差异显著（ $P<0.05$ ），下同。

表 4 调酸型土壤调理剂对芹菜生长发育的影响  
Tab.4 Effects of acid-regulating soil conditioner on the growth of celery

| 处理  | 株高 (cm) | 茎粗 (mm) | 叶绿素 SPAD | 地上鲜重 (g) | 地下鲜重 (g) |
|-----|---------|---------|----------|----------|----------|
| CK  | 9.83d   | 5.75c   | 44.73c   | 1.52d    | 0.29c    |
| I   | 45.70a  | 18.06a  | 49.90a   | 73.08a   | 14.51a   |
| II  | 33.95c  | 13.35b  | 39.07d   | 31.04c   | 8.63b    |
| III | 42.06ab | 17.38a  | 48.60ab  | 65.31ab  | 16.82a   |

注：表中数据在芹菜收获期（生长 52 天后）测得。

2.2 调酸型土壤调理剂对萝卜-芹菜轮作土壤化学性质的影响

2.2.1 调酸型土壤调理剂对土壤 pH 值的影响

酸性土壤初始 pH 值为 4.92。由图 1 可得，萝卜收获后，与对照相比，处理 III 可使土壤 pH 值提高 0.34 个单位，处理 I 和处理 II 分别使土壤 pH 值提高 0.16 个单位和 0.09 个单位，且各处理间有明显差异，表现为硅钙钾镁>石灰+风化煤>氢氧化钾+风化煤。与对照相比，总体上施用调酸型土壤调理剂种植萝卜后土壤 pH 值都有一定程度的提高，土壤 pH 提升了 0.09 ~ 0.34 个单位。而在芹菜收获后，大体上土壤 pH 值有明显提升，对照土壤 pH 值提升至 5.63，与对照相比，处理 III 可使土壤 pH 值提高 0.11 个单位，处理 I 可使土壤 pH 值提高 0.42 个单位，处理 II 使土壤 pH 值下降 0.12 个单位，总体上施用石灰+风化煤和硅钙钾镁种植芹菜后土壤 pH 值都有明显提高，而施用氢氧化钾+风化煤，芹菜收获后则出现了一定的复酸化现象，这可能与追肥种类、土壤缓冲

能力等综合作用有关。各处理间有明显差异，总体表现为石灰+风化煤>硅钙钾镁>氢氧化钾+风化煤。

2.2.2 调酸型土壤调理剂对土壤交换性酸的影响

酸性土壤初始交换性酸为 0.7 cmol/kg。由图 2 可得，萝卜收获后，与对照相比，处理 I 和 III 可使土壤交换性酸降低 0.07 个单位和 0.20 个单位，处理 II 反而使土壤交换性酸提高了 0.19 个单位，且各处理间有明显差异，总体上施用调酸型土壤调理剂种植萝卜后土壤交换性酸降低幅度上表现为硅钙钾镁>石灰+风化煤>氢氧化钾+风化煤。而在芹菜收获后，对照土壤的交换性酸降低了 0.18 个单位，与对照相比，处理 I、处理 II、处理 III 可使土壤交换性酸降低 0.42 个单位、0.14 个单位和 0.20 个单位，总体上施用调理剂种植芹菜后土壤交换性酸都有一定程度的下降，降低幅度顺序总体上为石灰+风化煤>硅钙钾镁>氢氧化钾+风化煤。

2.2.3 调酸型土壤调理剂对土壤养分状况的影响

由表 5 可知，与对照相比，种植萝卜施用调酸



型土壤调理剂后, 处理 I、处理 II、处理 III 的硝态氮分别提高 9.05、6.74、11.43 mg/kg, 各处理与对照间都存在显著差异, 但各处理间差异不显著; 处理 I、处理 II、处理 III 的有效磷分别提高 14.13、6.06、2.69 mg/kg, 各处理与对照间都存在显著差异, 但各处理间差异不显著。处理 I、处理 II、处理 III 的速效钾含量分别提高 12.59、7.38、18.21 mg/kg, 各处理与对照间都存在显著差异。总体表现为硅钙钾镁 > 石灰 + 风化煤 > 氢氧化钾 + 风化煤。较对照比, 施用调酸型土壤调理剂后土壤有机质含量也有所提升, 但各处理间差异不显著。

与对照相比, 种植芹菜施用调酸型土壤调理剂后, 处理 I、处理 II、处理 III 的硝态氮分别提

高 20.12、7.21、18.44 mg/kg, 各处理与对照间都存在显著差异, 但处理 I 与处理 III 之间差异不显著; 处理 I、处理 II、处理 III 的有效磷分别提高 10.84、0.47、4.54 mg/kg, 处理 I、处理 III 与对照间都存在显著差异, 且各施调理剂处理间差异明显; 处理 I、处理 II、处理 III 的速效钾含量分别提高 12.51、2.18、12.87 mg/kg, 处理 I、处理 III 与对照间存在显著差异, 但处理 I 与处理 III 之间差异不明显。总体表现为石灰 + 风化煤 > 硅钙钾镁 > 氢氧化钾 + 风化煤。较对照比, 施用 2 次调酸型土壤调理剂后土壤有机质含量提升较明显, 且与对照间存在显著差异, 但处理 I 和处理 II 间差异不明显。

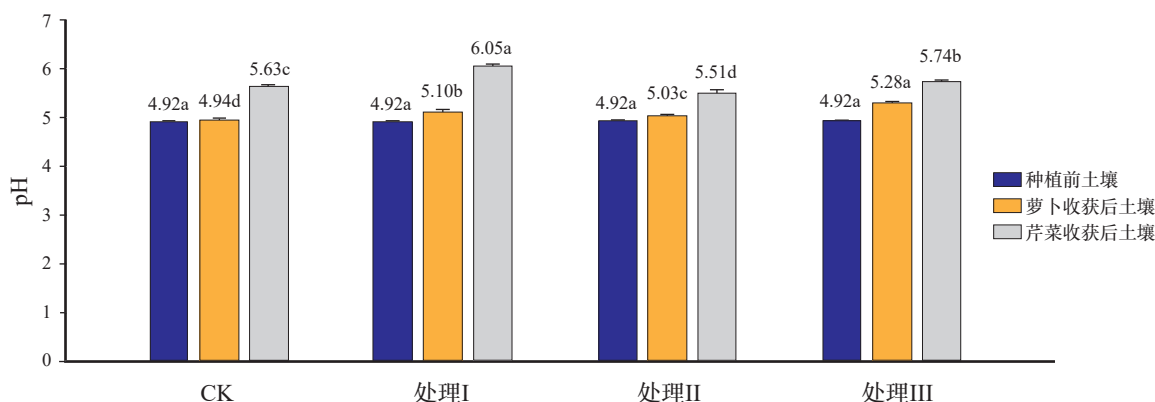


图 1 调酸型土壤调理剂对土壤 pH 值的影响

Fig.1 Effects of acid-regulating soil conditioner on the pH of soil

注: 同一图例中不同小写字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ ), 下同。

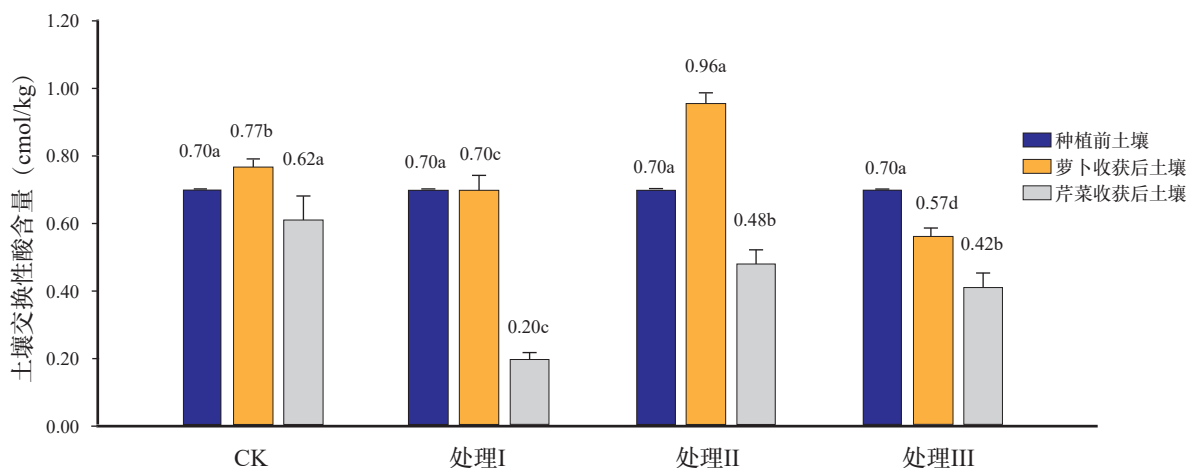


图 2 调酸型土壤调理剂对土壤交换性酸的影响

Fig.2 Effects of acid-regulating soil conditioner on exchangeable acid of soil



表 5 调酸型土壤调理剂对土壤养分状况的影响  
Tab.5 Effects of acid-regulating soil conditioner on the nutrient status of soil

| 项目           | 处理  | 硝态氮 (mg/kg) | 有效磷 (mg/kg) | 速效钾 (mg/kg) | 有机质 (%) |
|--------------|-----|-------------|-------------|-------------|---------|
| 萝卜收获后<br>检测值 | CK  | 15.23c      | 70.13c      | 46.33c      | 0.24a   |
|              | I   | 24.28a      | 84.26a      | 58.92ab     | 0.32a   |
|              | II  | 21.97ab     | 76.19ab     | 53.71b      | 0.30a   |
|              | III | 26.66a      | 72.82a      | 64.54a      | 0.27a   |
| 芹菜收获后<br>检测值 | CK  | 21.12c      | 88.72c      | 53.73b      | 0.19c   |
|              | I   | 41.24a      | 99.56a      | 66.24a      | 0.47a   |
|              | II  | 28.33b      | 89.19c      | 55.91b      | 0.42a   |
|              | III | 39.56a      | 93.26b      | 66.60a      | 0.33b   |

注：表中数据分别在萝卜和芹菜收获后测得。

3 结论与讨论

土壤酸化严重影响着作物生长，尤其对酸性土壤敏感的作物，影响作物产量甚至使作物绝产。学者们对改良酸性土壤较好的石灰类、硅钙类等进行了大量的长期研究，有机物料与石灰、碱渣等强碱性物质配合施用更有利于酸性土壤的改良<sup>[2]</sup>。研究发现，风化煤中含有丰富的再生腐植酸资源<sup>[18]</sup>，而腐植酸是天然的土壤改良剂，具有改善土壤理化性质、提高产量、改善品质等方面的重要作用，这与杨雪贞等<sup>[19~21]</sup>的研究结果一致。

本研究选用石灰+风化煤、氢氧化钾+风化煤和硅钙钾镁调理剂在酸性土壤上的应用效果做对比，从种植根茎类作物萝卜到叶菜类作物芹菜，试验可得，硅钙钾镁更有利于萝卜的横向生长，即促进萝卜的增粗，更有利于产量的提高，可使萝卜增产 12.6%，其次是石灰+风化煤，可使萝卜增产 10.3%；而氢氧化钾+风化煤萝卜增产效果不明显。这可能与根茎类作物都喜钾，而硅钙钾镁本身可提供部分钾营养，对提升萝卜产量有一定的影响有关。从芹菜的叶绿素、株高、茎粗及产量来看，石灰+风化煤在芹菜的生长上表现最优，其次是硅钙钾镁，再次是氢氧化钾+风化煤。而不施用调理剂的对照，芹菜基本绝产，说明对酸性土壤越敏感的作物，施用调酸型土壤调理剂效果越显著。因此，在酸性土壤的改良上，选用调酸型土壤调理剂需要区别对待

根茎类或叶菜类等不同种类作物。

土壤 pH 值和交换性酸，可直接反应土壤的酸度状况。在本试验中，萝卜-芹菜轮作后，与对照相比，硅钙钾镁可使土壤 pH 值提高 0.11 个单位，石灰+风化煤可使土壤 pH 值提高 0.42 个单位，而氢氧化钾+风化煤施用后土壤出现了一定的复酸化现象，这可能与追肥种类、土壤缓冲性等综合作用的影响相关<sup>[22~25]</sup>。

对于土壤养分状况，与对照相比，各施调理剂处理均提高了酸性土壤的硝态氮、有效磷、速效钾和有机质含量，说明各处理均提高了酸性土壤的养分有效性，从而提高了萝卜和芹菜的产量。这与廉晓娟<sup>[26]</sup>、靳辉勇<sup>[27]</sup>、赵英<sup>[28]</sup>等研究结果一致。

综上所述，通过萝卜-芹菜轮作可得，在根茎类作物种植上建议施用硅钙钾镁或者石灰+风化煤调理剂，结合土壤酸度的降低、土壤养分有效性的提高及作物产量的提高，建议施用量为每亩 40 kg，并可根据实际土壤状况及种植作物合理调整。此外，叶菜类尤其对酸性土壤较敏感的作物建议首选石灰+风化煤土壤调理剂，在保证产量的情况下改土效果最明显，其次推荐硅钙钾镁调理剂，而如用氢氧化钾+风化煤调理剂，建议选择根茎类作物。

参考文献

[1] 黄昌勇. 土壤学 [M]. 北京：中国农业出版社，2007.

- [2] 鲁艳红, 廖育林, 聂军, 等. 我国南方红壤酸化问题及改良修复技术研究进展[J]. 湖南农业科学, 2015(3): 148 ~ 151.
- [3] 赵其国, 黄国勤, 马艳芹. 中国南方红壤生态系统面临的问题及对策[J]. 生态学报, 2013, 33(24): 7615 ~ 7622.
- [4] 任立民, 刘鹏, 谢忠雷, 等. 植物对铝毒害的抗逆性研究进展[J]. 土壤通报, 2008, 39(1): 177 ~ 180.
- [5] 梅旭阳, 高菊生, 杨学云, 等. 红壤酸化及石灰改良影响冬小麦根际土壤钾的有效性[J]. 植物营养与肥料学报, 2016, 22(6): 1568 ~ 1577.
- [6] 胡敏, 向永生, 鲁剑巍. 石灰用量对酸性土壤酸度及大麦幼苗生长的影响[J]. 中国农业科学, 2016, 49(20): 3896 ~ 3903.
- [7] Borja I, Nilsen P. Long term effect of liming and fertilization on ectomycorrhizal colonization and tree growth in old Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) stands[J]. Plant and Soil, 2009, 314(1): 109 ~ 119.
- [8] 庄舜尧, 季海宝, 程琳, 等. 施用石灰对雷竹林土壤氮磷流失的影响[J]. 浙江林业科技, 2014, 34(6): 68 ~ 71.
- [9] 王梅, 蒋先军. 施用石灰与钙蒙脱石对酸性土壤硝化动力学过程的影响[J]. 农业资源与环境学报, 2017, 34(1): 47 ~ 53.
- [10] 孙蓓锋, 王旭. 土壤调理剂的研究和应用进展[J]. 中国土壤与肥料, 2013(1): 1 ~ 7.
- [11] Clark R B, Ritchey K D, Baligar V C. Benefits and constraints for use of FGD products on agricultural land[J]. Fuel, 2001, 80: 821 ~ 828.
- [12] 杜玉凤, 吕乐福, 何振全, 等. 矿物土壤改良剂对酸性红壤改良的影响[J]. 水土保持学报, 2016, 30(3): 351 ~ 354.
- [13] 蒋武燕, 宋世杰. 粉煤灰在土壤修复与改良中的应用[J]. 煤炭加工与综合利用, 2011(3): 57 ~ 61, 67.
- [14] 王辉, 徐仁扣, 黎星辉. 施用碱渣对茶园土壤酸度和茶叶品质的影响[J]. 生态与农村环境学报, 2011, 27(1): 75 ~ 78.
- [15] 黄兰芬, 李九玉, 陈中华, 等. 碱渣和生物质灰配施改良酸性土壤的效果初探[J]. 生态与农村环境学报, 2014, 43(4): 65 ~ 67.
- [16] Li J Y, Wang N, Xu R K, et al. Potential of industrial byproducts in ameliorating acidity and aluminum toxicity of soils under tea plantation[J]. Pedosphere, 2010, 20(5): 645 ~ 654.
- [17] 张宏伟, 陈志泉, 宁平, 等. 腐植酸共聚物土壤调理剂对土壤化学性能的影响[J]. 水土保持通报, 2003, 23(6): 36 ~ 38.
- [18] 牛育华, 李仲谨, 郝明德, 等. 腐植酸的研究进展[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(11): 46389 ~ 4639, 4651.
- [19] 杨雪贞, 王贺鹏, 康锁倩, 等. 腐植酸在农业领域的应用成果分析[J]. 腐植酸, 2020(1): 49 ~ 65.
- [20] 宋以铃, 于健, 陈士更, 等. 腐植酸生物有机肥对土壤性质及小麦产量的影响[J]. 腐植酸, 2019(3): 34 ~ 41, 47.
- [21] 尹丽华, 周恒民, 李洪岭, 等. 秸秆黄腐酸应用效果研究[J]. 腐植酸, 2018(4): 22 ~ 26, 41.
- [22] Valentinuzzi F, Mimmo T, Cescos, et al. The effects of lime on the rhizosperic processes and elemental uptake of white lupin[J]. Environmental and Experimental Botany, 2015, 118: 85 ~ 94.
- [23] 汪吉东, 许仙菊, 宁运旺, 等. 土壤加速酸化的主要农业驱动因素研究进展[J]. 土壤, 2015, 47(4): 627 ~ 633.
- [24] De Vries W, Breeuwsma A. The relation between soil acidification and element cycling[J]. Water, Air, and Soil Pollution, 1987, 35(4): 293 ~ 310.
- [25] 侯宪文, 张梁, 邹雨坤, 等. 钙基调理剂对酸化农田土壤的调控效果研究[J]. 热带农业科学, 2015, 35(10): 14 ~ 18.
- [26] 廉晓娟, 路遥, 王艳, 等. 土壤调理剂对日光温室土壤理化性质和蔬菜产量、品质的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2015(5): 56 ~ 60.
- [27] 靳辉勇, 齐绍武, 朱益, 等. 土壤调理剂对土壤养分含量及微生物功能多样性的影响[J]. 中国农业科技导报, 2015, 19(5): 100 ~ 105.
- [28] 赵英, 刘双利, 何忠梅, 等. 酸性土壤调理剂对参地土壤性状及人参产量的影响[J]. 人参研究, 2016, 28(6): 2 ~ 4.