

王亚晨,蒋芳玲,唐 静,等. 氮肥减量施用条件下配施土壤调理剂对白菜生长、产量和品质的影响[J]. 江苏农业科学,2019,47(17):132-137.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.17.032

# 氮肥减量施用条件下配施土壤调理剂对白菜生长、产量和品质的影响

王亚晨<sup>1</sup>, 蒋芳玲<sup>1,2</sup>, 唐 静<sup>2,3</sup>, 王 珊<sup>2,3</sup>, 吴 震<sup>1,2</sup>

(1. 南京农业大学园艺学院, 江苏南京 210095; 2. 南京农业大学昆山蔬菜产业研究院, 江苏苏州 215300;

3. 江苏省昆山市城区农副产品实业有限公司, 江苏苏州 215300)

**摘要:**以白菜品种青蓝为试材,以常规氮肥施用量的 50% 为对照,设置申祗、养耘牌和时科竹炭 3 种土壤调理剂 3 种不同施用量的处理,探讨氮肥减量施用条件下配施不同土壤调理剂对白菜生长、产量、品质和经济效益的影响。结果表明,时科竹炭土壤调理剂处理可增加植株株高,申祗土壤调理剂处理可增加叶宽,2 个处理均可增加植株地上部鲜质量,3 种土壤调理剂处理均可显著增加白菜产量,其中时科竹炭土壤调理剂和养耘牌土壤调理剂可显著增加其经济效益。配施 3 种土壤调理剂可增加白菜可溶性糖含量,减少硝酸盐含量,改善其营养和安全品质。综合分析,以施用纯氮 90 kg/hm<sup>2</sup> + 时科竹炭土壤调理剂 600 kg/hm<sup>2</sup> 处理的产量和经济效益最好,品质较佳。

**关键词:**氮肥减施;土壤调理剂;白菜;产量;品质;经济效益

**中图分类号:** S143.1;S634.06 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2019)17-0132-06

白菜(*Brassica campestris* ssp. *chinensis* Makino)俗称青菜、小白菜、油菜(北方),具有营养丰富、生长快速、适应性广、消费需求大等特点。在长江流域有“三天不吃青,肚里冒火星”的俗语,说明其在蔬菜周年供应中具有重要地位<sup>[1-2]</sup>。但蔬菜属于喜氮肥作物,尤其是叶类蔬菜,易富集硝酸盐<sup>[3]</sup>。白菜作为一种主要的叶菜,也易富集硝酸盐。因此,氮肥减量施用技术在白菜栽培中显得尤为重要。

化肥是蔬菜优质高产的物质基础。据联合国粮农组织统计,化肥对世界农作物的增产贡献率在 60% 以上,我国化肥对粮食增产贡献率也高达 40%。然而,为追求高产,我国化学肥料过量施用严重。据黄绍文等统计,我国主要设施蔬菜氮肥施用总量是推荐量的 1.9 倍,主要露地蔬菜氮肥施用总量是推荐量的 2.7 倍<sup>[4]</sup>。化肥过量施用导致土壤有机质含量降低、速效养分大量富集、次生盐渍化、蔬菜可食部分和地下水硝酸盐超标等一系列较为严重的问题,严重制约着我国蔬菜产业的可持续发展<sup>[5-7]</sup>。

土壤调理剂是氮肥减施增效的主要技术之一,可以改善土壤状况、提高土壤肥力,从而为作物创造良好的生长环境、提高产量。目前,在蔬菜生产上施用土壤调理剂增产的研究已有报道<sup>[8-9]</sup>。但关于土壤调理剂配合氮肥减施对白菜产量和品质影响的研究还少见报道。本试验根据前期研究成果<sup>[10]</sup>,在常规施氮量基础上,减少 50% 的施氮量(折合纯氮

施用量为 90 kg/hm<sup>2</sup>,对照),配合施用 3 种不同调理剂,明确氮肥减施条件下,土壤调理剂对白菜生长、产量、品质及经济效益的影响,筛选出减氮保产、提质增效的土壤调理剂种类和施用量,为土壤调理剂在白菜减氮栽培上的应用提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

试验于 2016 年 11—12 月在南京农业大学昆山蔬菜产业研究院(江苏省昆山市玉山镇姜巷村)进行。试验所用白菜品种为青蓝,种子由南京农业大学园艺学院白菜系统生物学实验室提供。该品种耐寒性强,适宜春秋栽培。

供试土壤调理剂有 3 种:申祗土壤调理剂(A),广东省台山市申祗农业科技有限公司生产,主要成分为阳起石、华乳石、杏仁、乳香、松香、方解石、汉白玉、麦饭石、桃花石、地榆、芥末、胡椒及其他有机物;(2)养耘牌土壤调理剂(B),河北中瑞农业科技有限公司生产,主要成分为有效硅(SiO<sub>2</sub> ≥ 25.0%)、有效钾(K<sub>2</sub>O ≥ 4.0%)、氧化钙(CaO ≥ 30.0%)、有效镁(MgO ≥ 6.0%)、水分(H<sub>2</sub>O ≥ 3.0%),pH 值 9.5~11.5;(3)时科竹炭土壤调理剂(C),时科生物科技(上海)有限公司生产,主要成分包括有效活菌数(≥ 0.2 亿 CFU/g)、有机质(≥ 45%)、生物炭(≥ 35%)、钙(≥ 3.3%)、镁(≥ 3.5%)、硅(≥ 2.6%)、锌(≥ 2.3%)。

### 1.2 试验设计

试验设 10 个处理。根据前期研究结果,以氮肥减施 50% (折合纯氮施用量为 90 kg/hm<sup>2</sup>) 为对照(CK),3 种土壤调理剂均在对照施肥量的基础上配施。试验处理分别为:(1)对照(CK),折合施用纯氮 90 kg/hm<sup>2</sup>,不施入土壤调理剂;(2)施用 3 000 kg/hm<sup>2</sup> 申祗土壤调理剂(A3000);(3)施用 4 500 kg/hm<sup>2</sup> 申祗土壤调理剂(A4500);(4)施用

收稿日期:2018-04-26

基金项目:国家重点研发计划(编号:2018YFD0201203);江苏省农业科技自主创新资金[编号:CX(15)1015];江苏省“双创计划”科技副总项目。

作者简介:王亚晨(1992—),女,河南濮阳人,硕士,主要从事蔬菜栽培研究。E-mail:1351107462@qq.com。

通信作者:吴 震,博士,教授,主要从事蔬菜栽培研究。E-mail:wzh@njau.edu.cn。

6 000 kg/hm<sup>2</sup> 申祗土壤调理剂(A6000);(5)施用 300 kg/hm<sup>2</sup> 养耘牌土壤调理剂(B300);(6)施用 450 kg/hm<sup>2</sup> 养耘牌土壤调理剂(B450);(7)施用 600 kg/hm<sup>2</sup> 养耘牌土壤调理剂(B600);(8)施用 300 kg/hm<sup>2</sup> 时科竹炭土壤调理剂(C300);(9)施用 450 kg/hm<sup>2</sup> 时科竹炭土壤调理剂(C450);(10) 600 kg/hm<sup>2</sup> 时科竹炭土壤调理剂(C600)。除氮肥外,每个处理均施用钾肥(折合 K<sub>2</sub>O 45 kg/hm<sup>2</sup>)、磷肥(折合 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 45 kg/hm<sup>2</sup>)。每个处理设 3 次重复,完全随机区组排列。所有肥料以及土壤调理剂均作为基肥一次性撒施在试验小区。小区长 4.0 m,宽 1.3 m,面积为 5.2 m<sup>2</sup>。采用畦栽,沟宽为 0.4 m,沟深为 0.3 m,保护行宽为 1.0 m。小区用种量为 6 g/个。

试验在四连栋大棚中进行,连栋大棚长为 50 m,宽为 32 m,顶高为 4.0 m,顶部覆盖塑料薄膜避雨,四周加盖 25 目防虫网防虫,前茬作物为白菜。采用机械翻耕土壤、开沟和做畦。

在播种前,试验小区按照“S”形取 0~20 cm 土壤,供试土壤基本理化性质为 pH 值 5.8,有机质含量 2.57%,速效磷(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)含量 255.71 mg/kg,速效钾(K<sub>2</sub>O)含量 7.79 mg/kg,碱解氮含量 1.19 mg/kg。

### 1.3 测定指标及方法

1.3.1 植株生长指标测定 当植株展开 6~7 张叶片时,每个小区选取 10 株生长一致的健康植株,用于测定白菜植株生长指标,结果取平均值。

植株生长指标主要按常规方法测定株高、下胚轴粗、地上部鲜质量、地下部鲜质量。将称过鲜质量的各部分材料放入牛皮纸袋里,置于电热鼓风干燥箱,在 105 ℃下杀青 30 min,然后调节温度至 80 ℃,继续烘干至恒质量并称量。将称质量后的地上部分干样磨成粉末,过筛后保存,用以测定可溶性糖含量及矿质元素含量。

1.3.2 生理指标测定 当植株完全展开 4~5 张叶片时,每个小区随机选取 5 株生长一致的健康植株,取第 3~4 张展开叶测定以下生理指标。

叶绿素含量参照李合生的方法<sup>[11]</sup>测定;超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)、抗坏血酸过氧化物酶活性(APX)、谷胱甘肽还原酶(GR)活性均参照曹建康等的方法<sup>[12]</sup>测定。

1.3.3 品质指标测定 当植株完全展开 5~6 张叶片时,在每个小区随机选取 5 株生长一致的健康植株,取第 3~5 张完全展开叶进行以下品质指标测定。

可溶性蛋白含量采用考马斯亮蓝 G-250 染色法<sup>[12]</sup>测定;维生素 C 含量采用 2,6-二氯靛酚法测定<sup>[13]</sup>测定;有机酸含量采用滴定法<sup>[14]</sup>测定;硝酸盐含量采用水杨酸硝化法<sup>[15]</sup>测定;可溶性糖含量采用蒽酮比色法<sup>[11]</sup>测定。

1.3.4 矿质元素含量 全氮含量测定采用 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 消化法,定容后用全自动流动分析仪测定;全磷含量测定方法如下:样品加入 HNO<sub>3</sub> 后置于 Ethos T 微波消解系统(Milestone,意大利)消煮,消煮完毕后定容,利用 Optima 2100DV 电感耦合等离子体发射光谱仪(Perkin Elmer 公司,美国)测定样品全磷含量<sup>[16]</sup>;全钾、全钙、全镁和全钠含量的测定参照全磷测定方法。

1.3.5 产量及经济效益分析 (1)产量的测定。当植株完全展开 6~7 张叶片时,在每个小区随机选取植株生长密度、高度一致的地块(面积 S=0.5 m<sup>2</sup>),将选取地块上的植株采收后在电子天平上称质量,折算为产量。(2)经济效益分析。土壤调理剂及白菜产品的价格均按批发价计算。申祗土壤调理剂价格为 7.6 元/kg,养耘牌土壤调理剂价格为 1.6 元/kg,时科竹炭土壤调理剂价格为 3.8 元/kg。

总产值=产量×单价;经济效益=总产值-生产成本;生产成本=无机肥料成本+人工成本+用地成本+土壤调理剂成本。

### 1.4 数据分析

采用 Microsoft Excel 2016 和 SPSS Statistics 17.0 软件进行数据统计与分析,使用 Duncan's 新复极差法进行多重比较。

## 2 结果与分析

### 2.1 氮肥减施条件下配施土壤调理剂对白菜植株生长的影响

氮肥减量条件下配施土壤调理剂可促进白菜生长(表 1)。C450、C600 对株高促进明显,处理后株高分别达到 16.76、16.75 cm,而 CK 仅为 15.61 cm;A6000 处理可显著增加叶宽,处理下最大叶宽为 5.24 cm,显著大于 CK、A4500、C300、C450、C600;A3000、A6000、C600 对地上部鲜质量有显著促进作用,其中以 A3000 和 C600 较高,单株质量分别达到 12.50、12.83 g,显著高于 CK(10.22 g)和 C300(9.73 g)处理;C600 处理下植株的地上部干质量为 0.65 g,显著高于 CK、A4500 及 C300 处理。各处理间下胚轴粗、最大叶长、地下部鲜质量和干质量与 CK 差异不显著(表 1)。

### 2.2 氮肥减施条件下配施土壤调理剂对白菜光合色素含量的影响

氮肥减施条件下配施土壤调理剂对白菜光合色素含量的影响见表 2。CK 的叶绿素 a 含量为 0.635 mg/g,显著低于添加土壤调理剂的处理,而各土壤调理剂处理间叶绿素 a 含量无显著差异;各处理的叶绿素 b 和类胡萝卜素含量与 CK 无显著差异;总叶绿素含量以处理 B300、B600、C300 较高,显著高于 CK。

### 2.3 氮肥减施条件下配施土壤调理剂对白菜矿质元素含量的影响

土壤调理剂对白菜中矿质元素的积累有一定影响(表 3)。添加土壤调理剂的植株全氮含量均显著高于 CK,其中以 B600 和 C600 较高;同种土壤调理剂处理相比,植株中全氮含量随调理剂施用量增加而增加。全钾含量以 A6000、B300、B600、C600 较高,其余处理与 CK 无显著差异,其中 A6000 最高,为 50.42 g/kg(DW)。全钠含量较高的依次为 C450>B300>B600>A6000,同种调理剂不同用量之间的全钠含量差异不显著。添加土壤调理剂处理的全磷、全钙及全镁含量与 CK 没有显著差异。

### 2.4 氮肥减施条件下配施土壤调理剂对白菜抗氧化酶活性的影响

减氮条件下配施土壤调理剂对白菜植株的抗氧化酶活性影响不大(表 4)。在不同土壤调理剂处理下,植株的 SOD 活

表 1 氮肥减施条件下配施土壤调理剂对白菜生长指标的影响

处理	株高 (cm)	下胚轴粗 (mm)	最大叶宽 (cm)	最大叶长 (cm)	地上部鲜质量 (g)	地上部干质量 (g)	地下部鲜质量 (g)	地下部干质量 (g)
CK	15.61 ± 0.35bc	2.87 ± 0.08a	5.12 ± 0.12bcd	13.50 ± 0.38ab	10.22 ± 0.25cd	0.54 ± 0.02bc	0.154 8 ± 0.005 4a	0.024 1 ± 0.004 6a
A3000	16.29 ± 0.17abc	2.83 ± 0.04a	5.31 ± 0.05ab	14.10 ± 0.17a	12.50 ± 0.10a	0.61 ± 0.02ab	0.161 8 ± 0.000 6a	0.020 0 ± 0.000 4a
A4500	15.76 ± 0.15bc	2.65 ± 0.12a	4.92 ± 0.09d	13.71 ± 0.22ab	10.59 ± 0.53bcd	0.55 ± 0.04bc	0.156 3 ± 0.014 1a	0.020 5 ± 0.001 7a
A6000	16.28 ± 0.20abc	2.82 ± 0.03a	5.42 ± 0.02a	14.02 ± 0.25a	12.15 ± 0.20ab	0.59 ± 0.03abc	0.156 4 ± 0.009 7a	0.022 8 ± 0.001 6a
B300	15.96 ± 0.06abc	2.77 ± 0.04a	5.23 ± 0.08abc	13.71 ± 0.11ab	10.65 ± 0.49bcd	0.60 ± 0.02abc	0.149 2 ± 0.014 2a	0.023 4 ± 0.002 1a
B450	16.44 ± 0.41ab	2.78 ± 0.10a	5.34 ± 0.07ab	13.98 ± 0.35a	11.65 ± 1.00abc	0.60 ± 0.04ab	0.150 8 ± 0.013 7a	0.021 3 ± 0.003 1a
B600	16.42 ± 0.15ab	2.75 ± 0.11a	5.32 ± 0.03ab	13.99 ± 0.17a	11.65 ± 0.39abc	0.61 ± 0.02ab	0.155 3 ± 0.012 0a	0.023 7 ± 0.000 8a
C300	15.36 ± 0.45c	2.8 ± 0.07a	5.02 ± 0.15cd	13.00 ± 0.27b	9.73 ± 0.39d	0.50 ± 0.04c	0.130 7 ± 0.015 9a	0.027 4 ± 0.006 7a
C450	16.76 ± 0.30a	2.89 ± 0.05a	5.00 ± 0.12cd	14.21 ± 0.24a	11.38 ± 0.28abcd	0.62 ± 0.02ab	0.152 2 ± 0.013 6a	0.024 2 ± 0.001 9a
C600	16.75 ± 0.29a	2.72 ± 0.10a	5.11 ± 0.03bcd	14.19 ± 0.22a	12.83 ± 0.91a	0.65 ± 0.03a	0.131 9 ± 0.005 7a	0.027 3 ± 0.005 8a

注:同列数据后不同小写字母表示在 0.05 水平上有显著差异。下同。

表 2 氮肥减施条件下配施土壤调理剂对白菜光合色素含量的影响

处理	叶绿素 a 含量 (mg/g)	叶绿素 b 含量 (mg/g)	类胡萝卜素含量 (mg/g)	总叶绿素含量 (mg/g)
CK	0.635 ± 0.014b	0.161 ± 0.012a	0.167 ± 0.006 8a	0.795 ± 0.006b
A3000	0.672 ± 0.003a	0.155 ± 0.003a	0.174 ± 0.000 9a	0.827 ± 0.006ab
A4500	0.667 ± 0.008a	0.160 ± 0.008a	0.169 ± 0.002 6a	0.827 ± 0.016ab
A6000	0.663 ± 0.008a	0.163 ± 0.011a	0.171 ± 0.008 2a	0.826 ± 0.019ab
B300	0.677 ± 0.005a	0.170 ± 0.009a	0.168 ± 0.004 4a	0.847 ± 0.015a
B450	0.661 ± 0.006a	0.156 ± 0.008a	0.171 ± 0.007 7a	0.817 ± 0.013ab
B600	0.675 ± 0.006a	0.170 ± 0.013a	0.169 ± 0.006 8a	0.844 ± 0.019a
C300	0.681 ± 0.004a	0.169 ± 0.002a	0.170 ± 0.000 2a	0.850 ± 0.006a
C450	0.665 ± 0.006a	0.146 ± 0.004a	0.177 ± 0.000 4a	0.811 ± 0.010ab
C600	0.669 ± 0.003a	0.167 ± 0.006a	0.167 ± 0.002 1a	0.836 ± 0.005ab

表 3 氮肥减施条件下配施土壤调理剂对白菜矿质元素含量的影响

处理	全氮含量 (g/kg,DW)	全磷含量 (g/kg,DW)	全钾含量 (g/kg,DW)	全钙含量 (g/kg,DW)	全镁含量 (g/kg,DW)	全钠含量 (g/kg,DW)
CK	2.28 ± 0.03e	4.76 ± 0.15a	33.09 ± 0.37d	9.15 ± 0.15a	2.17 ± 0.0a	3.38 ± 0.12c
A3000	2.38 ± 0.01d	4.95 ± 0.33a	38.95 ± 0.54bcd	9.68 ± 0.79a	2.21 ± 0.1a	4.47 ± 0.33abc
A4500	2.41 ± 0.01cd	4.89 ± 0.49a	34.27 ± 0.75cd	8.90 ± 0.88a	2.17 ± 0.2a	3.78 ± 0.34bc
A6000	2.47 ± 0.04bc	5.63 ± 0.12a	50.42 ± 5.61a	10.15 ± 1.78a	2.46 ± 0.5a	4.68 ± 0.11ab
B300	2.48 ± 0.02bc	5.23 ± 0.77a	44.13 ± 1.83ab	10.07 ± 1.45a	2.55 ± 0.4a	5.14 ± 0.74a
B450	2.54 ± 0.04b	4.38 ± 0.12a	35.36 ± 0.94cd	8.12 ± 0.24a	1.95 ± 0.0a	4.41 ± 0.12abc
B600	2.72 ± 0.01a	5.19 ± 0.40a	43.25 ± 2.78b	9.10 ± 0.69a	2.22 ± 0.2a	5.03 ± 0.30ab
C300	2.51 ± 0.02b	4.47 ± 0.19a	34.27 ± 2.05cd	7.83 ± 1.78a	1.97 ± 0.5a	4.17 ± 0.31abc
C450	2.51 ± 0.04b	4.61 ± 0.69a	39.11 ± 0.45bcd	8.22 ± 1.11a	2.01 ± 0.3a	5.18 ± 0.68a
C600	2.67 ± 0.01a	4.62 ± 0.16a	41.25 ± 1.83bc	8.36 ± 0.40a	1.98 ± 0.0a	4.24 ± 0.13abc

性、POD 活性与 CK 相比没有显著差异。B300、C300、C450、C600 处理的 CAT 活性显著高于 CK。A4500、B300、C450 的 APX 活性显著低于 CK,其他处理间没有显著差异。与 CK 相比,A3000、B450 的 GR 活性显著下降。

2.5 氮肥减施条件下配施土壤调理剂对白菜品质的影响

施用土壤调理剂可以不同程度地改善白菜的品质(表 5)。与对照相比,C450、A6000、B600、C600 的可溶性糖含量均显著升高;可溶性蛋白含量以 C600、C450 较高,其他处理与对照无显著差异;B600、C300、C450、C600 的维生素 C 含量显著低于 CK,其余处理间无显著差异;有机酸含量以 C300、C450、C600 显著低于对照,但 B450 显著高于对照,其余处理

与对照间无显著差异;各调理剂处理的白菜硝酸盐含量均显著低于 CK,并且在可食用限量标准(≤3 100 mg/kg,FW)<sup>[17]</sup>以下。

2.6 氮肥减施条件下配施土壤调理剂对白菜产量的影响及经济效益分析

与 CK 相比,配施土壤调理剂的白菜产量均显著增加了(表 6)。3 种调理剂中,以时科竹炭土壤调理剂(C 处理)增产效果最显著,其中以 C600 效果最好,比 CK 增产 17.78%。养耘牌土壤调理剂(B 处理)中,B600 产量最高,与 CK 相比增产 7.79%,显著高于 B300,但与 B450 差异不显著。申祗土壤调理剂(A 处理)增产效果幅度较小,但均显著高于 CK,3

表 4 氮肥减施条件下配施土壤调理剂对白菜抗氧化酶的影响

处理	SOD 活性 [ U/(g · min) ,FW]	POD 活性 [ U/(g · min) ,FW]	CAT 活性 [ U/(g · min) ,FW]	APX 活性 [ U/(g · min) ,FW]	GR 活性 [ U/(g · min) ,FW]
CK	106.67 ± 10.94a	1 255.86 ± 80.62ab	54.46 ± 6.58bc	542.67 ± 32.06a	0.84 ± 0.09a
A3000	100.06 ± 9.25a	1 322.07 ± 54.33ab	46.22 ± 4.60c	470.18 ± 27.5abc	0.40 ± 0.16c
A4500	94.05 ± 7.38a	811.45 ± 214.88b	42.35 ± 8.90c	382.76 ± 45.76bc	0.57 ± 0.09abc
A6000	92.10 ± 11.06a	1 249.13 ± 54.33ab	47.06 ± 6.44c	427.49 ± 28.92abc	0.56 ± 0.09abc
B300	95.15 ± 2.37a	1 718.38 ± 496.67a	84.46 ± 17.20a	355.73 ± 45.54c	0.69 ± 0.13abc
B450	92.42 ± 1.69a	1 476.88 ± 172.83a	59.06 ± 4.04bc	430.65 ± 20.35abc	0.51 ± 0.07bc
B600	95.55 ± 7.51a	1 565.30 ± 72.10a	74.58 ± 3.12ab	528.24 ± 39.81ab	0.71 ± 0.04ab
C300	97.21 ± 7.82a	1 519.89 ± 20.70a	89.55 ± 9.56a	522.49 ± 75.7ab	0.63 ± 0.05abc
C450	88.91 ± 4.07a	1 773.10 ± 143.03a	86.65 ± 2.74a	392.99 ± 22.99bc	0.64 ± 0.07abc
C600	85.58 ± 3.01a	1 360.81 ± 161.00ab	88.34 ± 6.83a	426.24 ± 61.84abc	0.68 ± 0.03abc

表 5 氮肥减施条件下配施土壤调理剂对白菜品质的影响

处理	可溶性糖含量 (mg/g,DW)	可溶性蛋白含量 (mg/g,FW)	维生素 C 含量 (mg/100 g,FW)	有机酸含量 (% ,FW)	硝酸盐含量 (mg/kg,FW)
CK	6.05 ± 0.35e	7.63 ± 0.06c	96.39 ± 0.87ab	0.17 ± 0.005bcd	2 067.39 ± 10.97a
A3000	6.84 ± 0.19cd	7.64 ± 0.26c	98.39 ± 0.50ab	0.18 ± 0.006ab	1 878.47 ± 11.83b
A4500	6.80 ± 0.21cde	7.92 ± 0.59bc	98.39 ± 0.50ab	0.16 ± 0.005d	1 678.32 ± 29.07c
A6000	7.98 ± 0.25b	7.92 ± 0.45bc	104.92 ± 3.62a	0.17 ± 0.004bc	1 385.41 ± 24.61f
B300	6.16 ± 0.07de	8.14 ± 0.64abc	95.88 ± 9.05ab	0.16 ± 0.003cd	1 488.42 ± 48.24e
B450	6.18 ± 0.43de	8.21 ± 0.45abc	86.85 ± 3.29bc	0.19 ± 0.002a	1 551.29 ± 35.99de
B600	7.51 ± 0.16bc	8.74 ± 0.41abc	82.33 ± 4.38c	0.16 ± 0.004d	1 680.43 ± 26.91c
C300	6.09 ± 0.13de	8.90 ± 0.62abc	79.32 ± 3.51c	0.14 ± 0.005e	1 271.53 ± 54.35g
C450	9.80 ± 0.22a	9.33 ± 0.39ab	63.25 ± 4.35d	0.14 ± 0.002e	1 617.08 ± 37.89cd
C600	7.25 ± 0.12bc	9.57 ± 0.30a	80.32 ± 1.81c	0.12 ± 0.007f	1 555.96 ± 1.84de

个处理(A3000、A4500 和 A6000)之间没有显著差异。

土壤调理剂配施能提高产量,但也会产生额外的生产成本。为了明确土壤调理剂施用的成本和效益情况,笔者进行了效益分析。本试验所在地昆山市城区农副产品实业有限公司全年用地成本 45 000 元/hm<sup>2</sup>,全年用水成本 9 000 元/hm<sup>2</sup>,耕地成本 750 元/hm<sup>2</sup>,人工成本 50 元/d,种子成本 150 元/hm<sup>2</sup>,50 kg 尿素成本 110 元,50 kg 过磷酸钙成本 90 元,10 g 硫酸钾成本 55 元,申祗土壤调理剂 7.6 元/kg,养耘牌土壤调理剂 1.8 元/kg,时科土壤调理剂 3.8 元/kg。

经济效益分析(表 6)表明,因施用土壤调理剂而产生的

生产成本依次为 A6000 > A4500 > A3000 > C600 > C450 > C300 > B600 > B450 > B300 > CK,各调理剂处理产生的经济效益由高到低为 C600 > C450 > B600 > B450 > B300 > C300 > CK > A3000 > A4500 > A6000。在减氮条件下配施时科土壤调理剂(C)和养耘牌土壤调理剂(B),其经济效益与 CK 相比均有增加,其中以 C600 处理的效益最高,为 186 663.00 元/hm<sup>2</sup>,比 CK 增加了 30 856.50 元/hm<sup>2</sup>;以 C300 最低,仅比 CK 增加了 7 504.20 元/hm<sup>2</sup>。A3000、A4500、A6000 处理的经济效益比 CK 还低,分别低 14 635.80、27 236.25、35 034.45 元/hm<sup>2</sup>。

表 6 氮肥减施条件下配施土壤调理剂对不结球白菜产量和经济效益的影响

处理	折合产量 (kg/hm <sup>2</sup> )	平均价格 (元/kg)	总产值 (元/hm <sup>2</sup> )	生产成本 (元/hm <sup>2</sup> )	经济效益 (元/hm <sup>2</sup> )	经济效益排名
CK	51 759.15e	3.60	186 333.00	30 526.50	155 806.50	7
A3000	54 027.00d	3.60	194 497.20	53 326.50	141 170.70	8
A4500	53 693.55d	3.60	193 296.75	64 726.50	128 570.25	9
A6000	54 694.05d	3.60	196 898.55	76 126.50	120 772.05	10
B300	54 427.20d	3.60	195 937.95	31 006.50	164 931.45	5
B450	55 627.80cd	3.60	200 260.05	31 246.50	169 013.55	4
B600	56 828.40bc	3.60	204 582.30	31 486.50	173 095.80	3
C300	54 160.35d	3.60	194 977.20	31 666.50	163 310.70	6
C450	57 895.65b	3.60	208 424.40	32 236.50	176 187.90	2
C600	60 963.75a	3.60	219 469.50	32 806.50	186 663.00	1

注:为便于计算生产成本,生长期按照 1 个月计算。

### 3 讨论

化肥的过量施用对作物生长及品质造成的不良影响日益加剧,造成土壤退化和食品安全问题,但氮肥减量施用易导致作物产量下降,如何达到氮肥减施增效是推进氮肥减量施用的关键。土壤调理剂在改良土壤、提高作物产量和品质方面能起到重要作用<sup>[18]</sup>,但土壤调理剂种类繁多且不断更新。不同作物中,在氮肥减量施用基础上筛选适宜土壤调理剂种类和施用量进行配施对作物减氮增效和安全生产有重要指导意义。笔者前期研究表明,减氮 50% (折合纯氮施用量为 90 kg/hm<sup>2</sup>) 对白菜产量品质影响不显著,本研究在减氮 50% 基础上,添加 3 种土壤调理剂,研究氮肥减量条件下配施土壤调理剂对白菜生长、产量和品质的影响。

研究发现,申祗、养耘和时科竹炭 3 种土壤调理剂均可显著增加白菜产量,其中以时科竹炭土壤调理剂(600 kg/hm<sup>2</sup>)增产效果最好,产量达到 60 963.75 kg/hm<sup>2</sup>,比较对照产量增加 17.78%。这可能是因为时科土壤调理剂中同时包含生物菌肥、有机质、生物炭和中微量元素,对土壤和植株有综合的促进作用,而另 2 种土壤调理剂组成不够全面。申祗土壤调理剂主要为多种矿物质及植物成分合成(芥末和胡椒),养耘牌土壤仅添加了大量元素钾及中微量元素。研究认为,生物菌肥可通过固定和分解营养元素为蔬菜提供生长发育必需的多种营养成分,同时微生物的代谢可改善土壤理化性质,杀灭有害细菌,为蔬菜生长创造良好的条件,因此可提高其产量<sup>[19-20]</sup>。中微量元素在提高作物的产量和品质方面也起一定作用,乌学敏研究发现,锌、硼、钼、硫肥的处理均起到了增产的作用<sup>[21]</sup>;王秀娟等研究发现,中微量元素中以镁肥和钙肥的增产效果最好<sup>[22]</sup>。钙可促进光合产物的运转、碳水化合物和蛋白质的合成<sup>[21]</sup>。锰和锌均是叶绿素的组成成分,锌肥施用可延长光合作用时间<sup>[23]</sup>、增加植物的光合叶面积,从而增强光合能力,提高产量<sup>[24]</sup>。而适量的生物炭在提高番茄产量和品质方面有一定功效<sup>[25]</sup>。可见,本研究中的时科竹炭土壤调理剂因同时含有生物菌、中微量元素以及生物炭等,在提高产量上效果最理想,且因为售价适中,经济效益最好。申祗和养耘牌土壤调理剂也增加了白菜产量,但因申祗土壤调理剂售价和推荐施用量较高,经济效益反而低于对照。冯映祺等研究发现,申祗土壤调理剂可深度调理土壤环境结构、活化及补充土壤不足的中量及微量元素、分解土壤金属残留、消解硝酸盐和化学毒素、清除常见病原菌,并可改善农产品品质和产量,因此对改良土壤结构和农业的可持续发展有益<sup>[26]</sup>。

矿质元素是植株生长必需的,光合作用是地球上一切生物直接或间接的能量来源。陈之群等认为,土壤调理剂配施能提高甘蓝的光合能力<sup>[27]</sup>。本研究中,3 种土壤调理剂处理均显著增加植株叶绿素 a 含量,在提高植株光合作用、提高产量方面也有一定功效。叶片的叶绿素含量是一个反映植株光合能力的重要指标<sup>[28]</sup>,叶绿素的合成需要 N 和 Mg 的参与。本研究发现,3 种土壤调理剂均促进了植株对 N 的吸收,这与叶绿素含量增加相符。在一定浓度处理下,3 种土壤调理剂均可促进 K 的吸收。钾虽不属于植物组织或化合物的组成部分,但在维持植物生命的所有过程、增加植株抗性中均必不可少,可帮助植物有效利用土壤和肥料中的水分和氮,这与本

研究中“植株中氮含量增加的结论”相符。

蔬菜营养价值高,富含人体正常生长发育和生理功能所需要的各种营养物质<sup>[29-31]</sup>,给人体提供了各种必需的氨基酸、蛋白质、维生素 C 和纤维素。但是蔬菜喜硝态氮,且极易积累硝酸盐。人体摄取的硝酸盐 81.2% 来自于蔬菜<sup>[17]</sup>。廉晓娟等对芹菜番茄 2 茬作物研究发现,施用土壤调理剂使番茄的维生素 C 含量升高,硝酸盐含量和总酸度降低<sup>[32]</sup>。在本研究中,3 种调理剂处理的植株的硝酸盐含量均极显著降低,表明土壤调理剂有利于改善蔬菜作物的安全品质,提高产品安全性。这也与李育鹏等在雍菜上的研究结果<sup>[8]</sup>类似。本试验中,土壤调理剂处理后可溶性糖含量也增加了,这与钾含量增加相符,钾可以促进碳水化合物的代谢和淀粉的合成、解体、转移,因此促进了可溶性糖含量增加。但本研究中部分土壤调理剂配施后,维生素 C 含量下降,有机酸含量上升,这可能是由于处理时间及浓度不当引起的。氮肥减施条件下配施土壤调理剂对白菜抗氧化系统影响不大,仅 CAT 活性稍有增强,部分 APX 及 GR 活性反而减弱,可能是因为生长环境条件较好,未受到胁迫,因此抗氧化系统保持在相对稳定水平。

### 4 结论

在氮肥减施 50% 条件下进行申祗土壤调理剂(A)、养耘牌土壤调理剂(B)和时科竹炭土壤调理剂(C)不同用量的配施处理,其中 C 处理可增加植株株高,A 处理可增加叶宽,A 和 C 处理均可增加植株地上部鲜质量,3 种土壤调理剂均可显著增加植株产量,但仅 B 和 C 处理可增加白菜的经济效益,其中又以施用 600 kg/hm<sup>2</sup> 时科竹炭土壤调理剂的经济效益最好。3 种土壤调理剂施用后叶绿素 a 含量均增加了,植株抗氧化酶活性稍有增强,可溶性糖含量增加,硝酸盐含量显著降低。综合来看,在白菜大田生产中,适量施用 3 种土壤调理剂有助于增加产量、提高营养品质、改善安全品质。

### 参考文献:

- [1] 侯喜林,宋小明. 不结球白菜种质资源的研究与利用[J]. 南京农业大学学报,2012,35(5):35-42.
- [2] 曹寿椿,李式军. 蔬菜按栽培季节的分类及其应用[J]. 江苏农学报,1963,2(2):81-90.
- [3] 陈贵林,高秀瑞. 氨基酸和尿素替代硝态氮对水培不结球白菜和生菜硝酸盐含量的影响[J]. 中国农业科学,2002,35(2):187-191.
- [4] 黄绍文,唐继伟,李春花,等. 我国蔬菜化肥减施潜力与科学施用对策[J]. 植物营养与肥料学报,2017,23(6):1480-1493.
- [5] Shi W M, Yao J, Yan F. Vegetable cultivation under greenhouse conditions leads to rapid accumulation of nutrients, acidification and salinity of soils and groundwater contaminations in south-eastern China[J]. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 2009, 83: 73-84.
- [6] Guo J H, Liu X J, Zhang Y, et al. Significant acidification in major Chinese croplands[J]. Science, 2010, 327(5968): 1008-1010.
- [7] 黄绍文,高伟,唐继伟,等. 我国主要菜区耕层土壤盐分总量及离子组成[J]. 植物营养与肥料学报,2016,22(4):965-977.
- [8] 李育鹏,胡海燕,李兆君,等. 土壤调理剂对红壤 pH 值及空心菜产量和品质的影响[J]. 中国土壤与肥料,2014(6):21-26.
- [9] 王凯,卢树昌,翁福军. 不同土壤调理剂对设施黄瓜生长、产量

- 与品质性状影响研究[J]. 天津农业科学,2015,21(11):12-15.
- [10]王亚晨. 氮肥减施对不结球白菜产量和品质的影响[D]. 南京: 南京农业大学,2017:19-41.
- [11]李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京:高等教育出版社,2000:134-195.
- [12]曹建康,姜微波,赵玉梅. 果蔬采后生理生化试验指导[M]. 北京:中国轻工业出版社,2007:68-105.
- [13]林桂荣,郭泳,付亚文,等. 新鲜果蔬维生素 C 测定方法研究[J]. 北方园艺,1995(2):7-9.
- [14]张治安,张美善,蔚荣海. 植物生理学实验指导[M]. 北京:中国农业科学技术出版社,2004:89.
- [15]宗学风,王三根. 植物生理研究技术[M]. 重庆:西南师范大学出版社,2011:102-105.
- [16]李玉兰,伦会荣. 电感耦合等离子体原子发射光谱法测定小麦中的微量元素[J]. 山东国土资源,2010,26(11):37-39.
- [17]沈明珠,翟宝杰,东惠茹,等. 蔬菜硝酸盐累积的研究——I. 不同蔬菜硝酸盐和亚硝酸盐含量评价[J]. 园艺学报,1982(4):41-48.
- [18]孙蓟锋,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.
- [19]连宾,臧金平,袁生. 微生物肥料科学研究中几个热点问题[J]. 南京师大学报(自然科学版),2004,27(2):65-69.
- [20]阎世江,张继宁,刘洁,等. 生物菌肥在蔬菜上的应用研究进展[J]. 山西农业科学,2018,46(2):306-308,312.
- [21]乌学敏. 中微量元素肥料对马铃薯种植的影响[J]. 现代农业,2014(1):18-21.
- [22]王秀娟,娄春荣,董环,等. 中微量元素对马铃薯产量和养分吸收的影响[J]. 江苏农业科学,2013,41(1):93-94.
- [23]Hemantaranjan A, Garg O K. Effect of zinc fertilization on the senescence of wheat varieties[J]. Indian Journal of Plant Physiology,1984,27:239-246.
- [24]李芳贤,王金林,李玉兰,等. 锌对夏玉米生长发育及产量影响的研究[J]. 玉米科学,1999(1):73-77.
- [25]曹雪娜,孟军,杨铁鑫,等. 生物炭对樱桃番茄果实品质及产量的影响[J]. 江苏农业科学,2018,46(4):101-104.
- [26]冯映祺,朱振中,朱小猛,等. 申祗土壤调理剂在水稻生产上的应用效果研究[J]. 现代农业科技,2015(17):14,18.
- [27]陈之群,孙治强. 土壤调理剂对土壤理化性质及甘蓝生理特性的影响[J]. 农业工程学报,2005,21(增刊2):53-56.
- [28]Oh S A, Park J H, Lee G I, et al. Identification of three genetic loci controlling leaf senescence in *Arabidopsis thaliana* [J]. Plant Journal,1997,12(3):527-535.
- [29]张振贤,喻景权,于贤昌,等. 面向 21 世纪课程教材,蔬菜栽培学[M]. 北京:中国农业大学出版社,2003:1-3.
- [30]孙旭,刘臣炜,张龙江,等. 农业废弃物制备生物有机肥及其在小白菜栽培上的应用[J]. 江苏农业学报,2017,33(6):1333-1341.
- [31]唐玉新,曲萍,陆岱鹏,等. 适合机械化移栽的番茄穴盘育苗基质配方筛选[J]. 江苏农业学报,2017,33(6):1342-1348.
- [32]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.

(上接第 131 页)

- [22]侯加林,王一鸣,丛晓燕,等. 番茄叶序发育动态模拟模型[J]. 农业机械学报,2006,37(7):101-103.
- [23]段爱国. 华山松不同叶龄、部位针叶叶绿素荧光参数的动态变化规律[J]. 北京林业大学学报,2008,30(5):26-32.
- [24]张永平,王志敏,吴永成,等. 不同供水条件下小麦不同绿色器官的气孔特性研究[J]. 作物学报,2006,32(1):70-75,160-162.
- [25]Chen Q Q, Fan Y Y, Hao Y B, et al. Effects of different soil water content on stomata development and water consumption of maize[J]. Agricultural Research in the Arid Areas,2011,29(3):75-79.
- [26]Doheny-Adams T, Hunt L, Franks P J, et al. Genetic manipulation of stomatal density influences stomatal size, plant growth and tolerance to restricted water supply across a growth carbon dioxide gradient[J]. Philosophical Transactions of the Royal Society of London,2012,367(1588):547-555.
- [27]Gillon L S, Dan Y. Internal conductance to CO<sub>2</sub> diffusion and C<sup>18</sup>O<sub>2</sub> discrimination in C<sub>3</sub> leaves[J]. Plant Physiology,2000,123(1):201-213.
- [28]Franks P J, Drake P L, Beering D J. Plasticity in maximum stomatal conductance constrained by negative correlation between stomatal size and density:an analysis using *Eucalyptus globulus* [J]. Plant, Cell and Environment,2009,32(12):1737-1748.
- [29]Miyashita K, Tanakamaru S, Maitani T, et al. Recovery responses of photosynthesis, transpiration, and stomatal conductance in kidney bean following drought stress[J]. Environmental and Experimental Botany,2005,53(2):205-214.
- [30]Tanaka Y, Sugano S S, Shimada T, et al. Enhancement of leaf photosynthetic capacity through increased stomatal density in *Arabidopsis* [J]. The New Phytologist,2013,198(3):757-764.
- [31]刘天宝. 不同叶序植物内源细胞分裂素和生长素的差异分析[D]. 合肥:安徽农业大学,2010.
- [32]徐全乐,胡鑫. 植物叶序的发生和影响因素[J]. 植物生理学通讯,2009,45(4):405-412.
- [33]赵清岩,任安祥. 黄瓜气孔开闭规律及其分布的研究[J]. 内蒙古农牧学院学报,1986,7(2):121-125.
- [34]申芳芳,张万里,李德志. 植物叶序研究的源流与发展[J]. 东北林业大学学报,2006,34(5):83-86.
- [35]徐坤,邹琦,赵燕. 土壤水分胁迫与遮荫对生姜生长特性的影响[J]. 应用生态学报,2003,14(10):1645-1648.
- [36]刘悦秋,孙向阳,王勇,等. 遮荫对异株荨麻光合特性和荧光参数的影响[J]. 生态学报,2007,27(8):3457-3464.
- [37]陈温福,徐正进,张龙步,等. 水稻叶片气孔密度与气体扩散阻力和净光合速率关系的比较研究[J]. 中国水稻科学,1990(4):163-168.
- [38]孟雷,李磊鑫,陈温福,等. 水分胁迫对水稻叶片气孔密度、大小及净光合速率的影响[J]. 沈阳农业大学学报,1999(5):477-480.
- [39]贺凤丽,马三梅. 气孔在菜心子叶表皮分布的研究[J]. 北方园艺,2009(10):26-29.