



## 氮肥减量配施有机肥对大白菜产量、品质及氮肥利用率的影响

刘中良,高俊杰\*,陈震,闫伟强,谷端银

(泰安市农业科学院,山东 泰安 271000)



刘中良

**摘要:** 为了研究黄淮海区域大白菜合理有效的施肥模式,以“北京新三号”为供试材料,设置12种不同处理(CK1,不施肥;CK2,常规施肥;T1,常规减施化肥N 100%;T2,常规减施化肥N 15%;T3,常规减施化肥N 15%+有机肥替代15%N;T4,常规减施化肥N 30%;T5,常规减施化肥N 30%+有机肥替代15%N;T6,常规减施化肥30%+有机肥替代30%N;T7,常规减施化肥N 40%;T8,常规减施化肥N 40%+有机肥替代15%N;T9,常规减施化肥N 40%+有机肥替代30%N;T10,常规减施化肥N 40%+有机肥替代40%N),研究氮肥减量配施生物有机肥对大白菜产量、品质、土壤养分及氮肥利用率的影响.结果表明:氮肥减量配施生物有机肥显著提高了大白菜产量,处理T3最高为307.43 t/hm<sup>2</sup>,较处理CK1,CK2和T1分别增产63.06%,14.49%和36.68%,与土壤中速效氮、速效钾含量呈正相关;与常规施肥相比,氮肥减量配施生物有机肥显著降低了大白菜硝酸盐含量,提高了维生素C、可溶性糖含量.氮肥减量配施生物有机肥对土壤酶活性也产生了显著影响,增施适量有机肥还增强了根际土壤脲酶、蔗糖酶、碱性磷酸酶活性,而酸性磷酸酶活性降低.此外,与处理T1相比,氮肥利用率提高5.54%~60.71%.综合大白菜产量、品质及氮肥利用率等因素,常规减施化肥N 15%+有机肥替代N 15%施肥处理效果最佳.

**关键词:** 氮肥;减量配施;大白菜;产量;品质;氮肥利用率

**中图分类号:** S634.1;S143.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-8530(2022)11-1138-07

**Doi:** 10.3969/j.issn.1674-8530.21.0093

刘中良,高俊杰,陈震,等.氮肥减量配施有机肥对大白菜产量、品质及氮肥利用率的影响[J].排灌机械工程学报,2022,40(11):1138-1144.

LIU Zhongliang, GAO Junjie, CHEN Zhen, et al. Effects of nitrogen fertilizer reduction combined with organic fertilizer on yield, quality and nitrogen utilization efficiency of Chinese Cabbage[J]. Journal of drainage and irrigation machinery engineering (JDIME), 2022, 40(11):1138-1144. (in Chinese)

## Effects of nitrogen fertilizer reduction combined with organic fertilizer on yield, quality and nitrogen utilization efficiency of Chinese Cabbage

LIU Zhongliang, GAO Junjie\*, CHEN Zhen, YAN Weiqiang, GU Duanyin

(Taian Academy of Agricultural Sciences, Taian, Shandong 271000, China)

**Abstract:** To study the reasonable and effective fertilization mode of Chinese cabbage in Huang Hai area, 'Beijing New No. 3' was used as the test material, 12 different treatments were set as: CK1: No fertilization, CK2: conventional fertilization, T1: conventional reduced fertilizer N 100%, T2: conventional reduced fertilizer N 15%, T3: conventional reduced fertilizer N 15% + organic fertilizer

收稿日期: 2021-04-06; 修回日期: 2021-09-18; 网络出版时间: 2022-11-10

网络出版地址: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/32.1814.th.20221109.2107.026.html>

基金项目: 山东省蔬菜产业技术体系项目(SDAIT-05); 山东农业良种工程项目(2019LZGC0060103); 国家重点研发计划项目(2018YFD0201207)

第一作者简介: 刘中良(1984—),男,山东枣庄人,高级农艺师,硕士(sdau0525@126.com),主要从事蔬菜育种及栽培研究。

通信作者简介: 高俊杰(1970—),男,山东潍坊人,研究员(sdau0525@foxmail.com),主要从事蔬菜育种及栽培研究。

replaced N 15%, T4: conventional reduced fertilizer N 30%, T5: conventional reduced fertilizer N 30% + organic fertilizer replaced N 15%, T6: conventional reduced fertilizer 30% + organic fertilizer replaced N 30%, T7: conventional reduced fertilizer N 40%, T8: conventional reduced fertilizer N 40% + organic fertilizer replaced N 15%, T9: conventional reduced fertilizer N 40% + organic fertilizer replaced N 30%, T10: conventional reduced fertilizer N 40% + organic fertilizer replaced N 40%. The effects of nitrogen fertilizer reduction combined with bio-organic fertilizer on the yield, quality, soil nutrients accumulation and nitrogen utilization efficiency of Chinese cabbage were studied. The results show that the reduction of nitrogen fertilizer combined with bio-organic fertilizer significantly improve the yield and quality of Chinese cabbage. The highest T3 treatment is 307.43 t/hm<sup>2</sup>, which is 63.06%, 14.49% and 36.68% higher than that of treatment CK1, CK2 and T1, respectively. It is positively correlation with the content of available nitrogen and potassium in soil. Compared with the conventional fertilization, the nitrate content of Chinese cabbage is significantly reduced and the content of vitamin C and soluble sugar is increased by the combination of nitrogen fertilizer reduction and bio-organic fertilizer. The reduction of nitrogen fertilizer combined with the application an appropriate amount of bio-organic fertilizer also has a significant impact on soil enzyme activity. The application of appropriate amount of organic fertilizer also enhance the activities of urease, invertase, alkaline phosphatase in rhizosphere soil, while acid phosphatase activity decreases. In addition, compared with T1 treatment, the nitrogen utilization efficiency is increased by 5.54%–60.71%. Considering the yield, quality and nitrogen utilization efficiency of Chinese cabbage, the treatment of conventional fertilizer reduction N 15% + organic fertilizer replacement N 15% is the best fertilization method.

**Key words:** nitrogen fertilizer; reduced combined application; Chinese cabbage; yield; quality; nitrogen use efficiency

大白菜是中国北方秋冬季主要的露地蔬菜,产量影响的要素较多,除了受种植模式、土壤地力、管理及病虫害等影响外,主要受肥料影响。肥料作为保证作物生长的重要因素,特别是氮肥对作物产量和品质的提高起着至关重要的作用<sup>[1]</sup>。随着当前蔬菜产业迅猛发展,为了追求高产高效益,盲目过量施肥现象较为普遍,特别是氮肥高投入、不合理施肥导致蔬菜品质下降、土壤生态失衡、资源浪费,甚至环境污染等问题,严重影响着蔬菜产业的持续健康发展<sup>[2]</sup>;而氮肥过量施用亦造成大白菜品质下降和农业污染<sup>[3]</sup>。

近年来,化学肥料减量配施有机肥成为研究热点,在不减产甚至增产的条件下减少了化学肥料的施用量,提高了土壤生产力,改善了土壤质量,也是实现化肥零增长战略目标,促进农业绿色可持续发展的重要途径<sup>[4]</sup>。研究表明,较单一施用化肥或有机肥,化肥配施有机肥能显著活化和提高土壤有效养分,促进土壤固定态元素释放,满足作物关键生育时期的养分需求<sup>[5]</sup>。有机肥可促进土壤有机质提升,而土壤团聚体的形成与有机质含量密切相关,增加土壤有机质有利于促进水稳定性团聚体(>0.25 mm)的形成和稳定<sup>[6]</sup>,并对有机碳发挥着物理保护

作用<sup>[7]</sup>。有报道<sup>[8]</sup>证实,单施化肥能降低土壤团聚体的稳定性。此外,化肥减施配施有机肥能提高土壤酶活性,调节土壤微生物群落组成结构<sup>[9]</sup>,加速土壤养分释放,改善根际土壤微环境,增加土壤团聚体<sup>[10]</sup>,提高作物根系生物量及活力,改善植株生产,促进光合积累,进而提高作物产量和改善品质<sup>[11]</sup>。相关研究<sup>[12]</sup>表明,2/3 化肥配施 1/3 有机肥大白菜产量最高,品质较佳。但过量施用有机肥也会造成作物大量减产,甚至导致土壤硝酸盐富集、土壤重金属含量增加及土壤温室气体(CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>等)排放等<sup>[13]</sup>。

由于化肥减量配施有机肥对地上作物生长和地下土壤生态的影响程度受到替代比例、土壤质地、种植模式、管理水平及气候条件的影响而存在差异。因此,在特定蔬菜产区和特定蔬菜作物中,探究化肥减量配施有机肥对蔬菜产量和土壤性状的影响具有重要意义。目前,在黄淮海蔬菜主产区氮肥减量配施有机肥对露地蔬菜,特别是露地大白菜的研究鲜有报道。因此,文中试验研究化肥减量配施有机肥对大白菜产量、品质、氮肥利用率等的影响,探究最优配施比,为大白菜种植科学施肥提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验区域概况

试验于2020年8—11月在泰安市农业科学院试验基地(117°0′41″E, 35°59′38″N)进行,海拔85 m,属温带半湿润大陆性季风气候,年均气温13.6℃,年降水量664.5 mm,无霜期约195 d,平均日照时数2 313.3 h.试验土壤为黏壤土,速效氮、磷、钾分别为127.86,35.49,117.52 mg/kg;有机质13.10 mg/kg,pH 7.32.

### 1.2 试验材料

供试大白菜品种为当地主栽品种“北京新三号”,由京研益农(北京)种业科技有限公司选育.供试肥料为尿素(N:46%),复合肥(15-15-15),硫酸钾(K<sub>2</sub>O:52%),重过磷酸钙(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:≥46%);生物有机肥有效活菌数(枯草芽孢杆菌、地衣芽孢杆菌、解淀粉芽孢杆菌):≥6亿/g,有机质:≥60%,总养分(N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O):≥10%,N:3%.

### 1.3 试验设计

根据当地种植习惯和施肥经验,生育期内常规施肥总量N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>和K<sub>2</sub>O均为247.5 kg/hm<sup>2</sup>.基于此设置12个处理,即CK1:不施肥,CK2:常规施肥,T1:常规减施化肥N 100%,T2:常规减施化肥N 15%,T3:常规减施化肥N 15%+有机肥替代15%N,T4:常规减施化肥N 30%,T5:常规减施化肥N 30%+有机肥替代15%N,T6:常规减施化肥30%+有机肥替代30%N,T7:常规减施化肥N 40%,T8:常规减施化肥N 40%+有机肥替代15%N,T9:常规减施化肥N 40%+有机肥替代30%N,T10:常规减施化肥N 40%+有机肥替代40%N;CK1,CK2和T1为对照.具体见表1,*I<sub>f</sub>*和*O<sub>f</sub>*分别为无机肥、有机肥的施用量.

表1 施肥处理及肥料用量  
Tab.1 Fertilization treatment and fertilizer amount

处理	<i>I<sub>f</sub></i> /(kg·hm <sup>-2</sup> )			<i>O<sub>f</sub></i> /(kg·hm <sup>-2</sup> )
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	
CK1	0	0	0	0
CK2	247.50	247.50	247.50	0
T1	0	247.50	247.50	0
T2	210.38	247.50	247.50	0
T3	210.38	247.50	247.50	1 237.50
T4	173.25	247.50	247.50	0
T5	173.25	247.50	247.50	1 237.50
T6	173.25	247.50	247.50	2 475.00
T7	148.50	247.50	247.50	0
T8	148.50	247.50	247.50	1 237.50
T9	148.50	247.50	247.50	2 475.00
T10	148.50	247.50	247.50	3 300.00

各处理3次重复,随机排列,共计36个小区,每个小区面积40 m<sup>2</sup>,地膜覆盖高垄水肥一体化种植,株行距40 cm×80 cm.8月23日育苗,9月10日定植,生育期内不再追肥,11月25日收获.

### 1.4 测定指标

大白菜收获直接称重计产.选取有代表性的植株5棵,进行含水率及品质测定.可溶性糖和维生素C(Vc)含量分别采用硫酸-萘酚比色法和2,6-二氯酚比色法测定,亚硝酸盐和硝酸盐含量分别采用分光光度法、水杨酸比色法测定.同时,每个处理按“S”型取样法用土钻取0~20 cm土壤样品,6个点混合为一个样品,装于无菌密封袋,后置于保温箱带回实验室立即测定.土壤脲酶、蔗糖酶和磷酸酶采用苯酚钠比色法、3,5-二硝基水杨酸比色法、磷酸苯二钠比色法测定;培养温度分别为25,37,37℃,时间均为24 h<sup>[14]</sup>;有机质用铬酸钾容量法测定.全氮采用凯氏蒸馏法测定,速效氮磷钾分别采用碱解扩散法、碳酸氢钠浸提比色法、醋酸铵浸提-火焰光度计法测定<sup>[15]</sup>.

### 1.5 数据处理

采用Excel 2007进行试验数据处理,DPS 7.05软件进行数据及相关性分析,Tukey法进行差异显著性比较,sigmaplot 12.0作图.

氮肥利用率(*NUE*)计算式为

$$NUE = [(U_N - U_0) / FN] \times 100\%, \quad (1)$$

式中:*U<sub>0</sub>*为不施氮区(T1)地上部氮的吸收量;*U<sub>N</sub>*为施氮区地上部氮的吸收量;*FN*为施氮量.

## 2 试验结果与分析

### 2.1 对大白菜产量及品质的影响

表2为不同施肥处理对大白菜产量*Y*及品质的影响,表中物理量为水分质量分数*W<sub>r</sub>*,粗蛋白质量分数*C<sub>p</sub>*,可溶性糖质量分数*S<sub>s</sub>*,每100 g大白菜中维生素C质量比*V<sub>c</sub>*,硝酸盐质量比*N<sub>c</sub>*,亚硝酸盐质量比*N<sub>ic</sub>*.

由表2可知,氮肥减量配施有机肥对大白菜产量及品质具有显著影响.与处理CK1,CK2和T1相比,各处理的产量随着有机肥替代量增加呈先提高后降低趋势,T3最高,达307.43 t/hm<sup>2</sup>,较CK1,CK2和T1分别增产63.06%,14.49%和36.68%,处理间差异具有统计学意义.处理T10的可溶性糖最高,为2.98%,各处理间差异具有统计学意义;维生素C质量比为(21.69~37.73)×10<sup>-2</sup> mg/g;与CK2相比,各

处理硝酸盐质量比显著降低,水分质量分数为 93.62%~95.58%.

表 2 不同施肥处理对大白菜产量和品质的影响  
Tab.2 Effects of different fertilization treatments on the yield and quality of Chinese cabbage

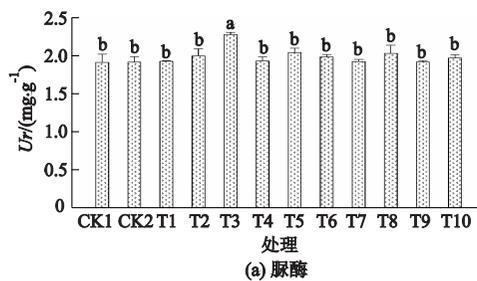
处理	$Y/(t \cdot hm^{-2})$	$Wr/\%$	$Cp/\%$	$Ss/\%$	$Vc/(10^{-2} mg \cdot g^{-1})$	$Nc/(mg \cdot kg^{-1})$	$Nic/(mg \cdot kg^{-1})$
CK1	188.53±18.28c	94.47±0.16de	7.11±0.06f	1.31±0.07f	21.69±0.25i	210.81±3.82f	0.076±0.004de
CK2	268.52±19.27ab	95.52±0.07a	8.13±0.04de	2.08±0.09e	25.15±0.57def	380.98±11.02a	0.092±0.007cd
T1	224.92±29.84bc	94.36±0.09e	7.14±0.02f	2.16±0.09e	24.60±0.45ef	245.15±4.31e	0.076±0.004de
T2	288.54±16.52a	95.13±0.01b	8.26±0.08de	2.52±0.06d	31.62±0.17b	330.85±4.00b	0.074±0.003de
T3	307.43±19.68a	94.85±0.05bc	10.76±0.13a	2.82±0.10ab	37.73±0.42a	313.96±6.41bc	0.066±0.004e
T4	289.06±28.78a	95.58±0.22a	8.44±0.05d	2.13±0.04e	27.91±1.68c	258.39±12.41de	0.103±0.004bc
T5	231.80±17.53bc	94.77±0.08c	9.98±0.19b	2.76±0.09abc	23.50±0.27fgh	283.87±5.25cd	0.138±0.010a
T6	268.98±9.25ab	94.94±0.04bc	8.82±0.10c	2.72±0.07bcd	26.15±0.20de	246.69±3.60e	0.066±0.004e
T7	204.40±12.38c	93.86±0.12f	8.37±0.11de	2.80±0.10ab	26.61±0.26cd	209.52±9.71f	0.064±0.004e
T8	197.59±7.42c	93.62±0.05f	7.15±0.11f	2.24±0.07e	22.10±0.04hi	282.99±3.48d	0.071±0.007e
T9	194.39±9.19c	95.12±0.07b	8.01±0.07e	2.54±0.03cd	23.80±0.14fg	231.57±6.95ef	0.065±0.001e
T10	199.01±11.44c	94.72±0.04cd	9.14±0.29e	2.98±0.12a	22.76±0.04ghi	285.25±6.90cd	0.122±0.017ab

注:表中数据均为 3 次重复的平均值标准差,同栏内同列不同小写字母表示在 5% 水平上差异具有统计学意义,下同

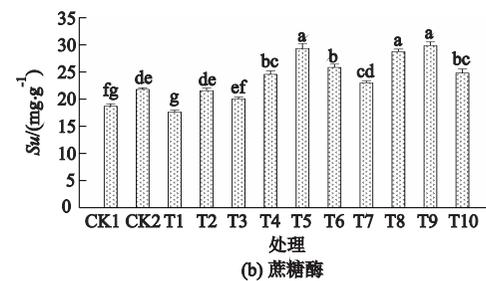
## 2.2 对土壤酶活性的影响

图 1 为不同施肥处理对土壤酶活性的影响,图中  $Ur$ ,  $Su$ ,  $Alp$ ,  $Ap$  分别为脲酶、蔗糖酶、碱性磷酸酶、酸性磷酸酶的质量比.由图可知,土壤脲酶活性为 1.91~2.27 mg/g,其中处理 T3 的土壤脲酶活性最高,为 2.27 mg/g,这对土壤有机质和氮素转化将产

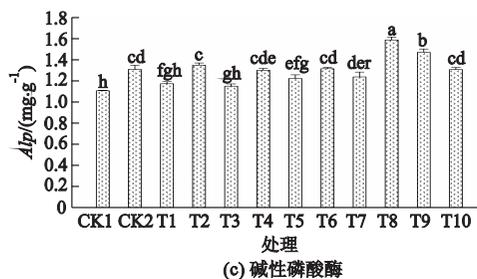
生积极影响,可促进大白菜氮素吸收、利用.处理 T8 的碱性磷酸酶活性最高,为 1.58 mg/g;T9 次之,为 1.46 mg/g,而后开始下降,与其他处理间差异具有统计学意义.而酸性磷酸酶活性以处理 CK2 的为最高,达 2.31 mg/g.说明氮肥减量配施有机肥有利于碱性磷酸酶活性提高,且降低了酸性磷酸酶活性.



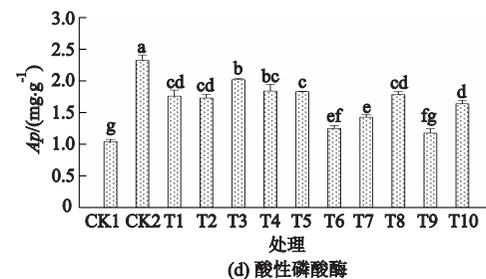
(a) 脲酶



(b) 蔗糖酶



(c) 碱性磷酸酶



(d) 酸性磷酸酶

注:图中不同小写字母表示在 5% 水平上差异具有统计学意义

图 1 不同施肥处理对土壤酶活性的影响

Fig.1 Effects of different fertilization treatments on soil enzyme activities

## 2.3 对土壤养分积累及氮肥利用率的影响

表 3 为不同施肥处理对土壤养分积累及氮肥利用率的影响,表中  $Om$ ,  $Tn$ ,  $Ran$ ,  $Ap'$ ,  $Rap$ ,  $Ptn$  分别为有机质、全氮、速效氮、有效磷、速效钾、植株全氮的质量比; $EC$ ,  $pH$  分别为土壤的电导率、酸碱度; $NUE$  为氮肥利用率.由表可知,随着替代量增加,速效磷呈先降低后增加的趋势,处理 T9 的最高,为 47.32

mg/kg,各处理间差异具有统计学意义.速效钾质量比为 120.56~223.42 mg/kg.较常规施肥处理 CK2,随着有机肥施入量增加, $EC$  呈降低趋势.与不施氮肥处理 T1 相比,T3 的氮肥利用率提高达 60.71%,说明氮肥适量减少配施生物有机肥是肥料高效利用的施肥方式;处理 T8 和 T9 的氮肥利用率较 T1 处理低,表明过量有机肥替代不利于氮肥利用.

表 3 不同施肥处理对土壤养分积累及氮肥利用率的影响

Tab.3 Effects of different fertilization treatments on soil nutrient accumulation and nitrogen utilization efficiency

处理	$Om/(g \cdot kg^{-1})$	$Tn/(g \cdot kg^{-1})$	$Ran/(mg \cdot kg^{-1})$	$Ap'/(mg \cdot kg^{-1})$	$Rap/(mg \cdot kg^{-1})$	$EC/(\mu S \cdot cm^{-1})$	pH	$Ptn/(g \cdot kg^{-1})$	$NUE/\%$
CK1	13.20±0.61de	0.90±0.000 3h	37.92±0.90f	37.07±0.34e	123.34±1.61fg	71.89±0.69i	6.61±0.11g	1.14±0.01g	—
CK2	12.56±0.49e	1.13±0.000 4b	97.65±2.38a	26.05±0.41g	143.72±1.61e	131.58±0.77a	6.96±0.03cdef	1.30±0.01ef	5.54±0.35bc
T1	13.82±1.38cde	0.94±0.000 4g	31.16±0.83g	23.59±0.20hi	125.19±2.78fg	101.91±0.61d	6.93±0.04def	1.14±0.01g	—
T2	13.67±0.47cde	0.95±0.001 2g	87.78±0.90b	35.60±0.48f	127.04±1.73f	130.00±1.81a	7.04±0.03bcd	1.32±0.02ef	19.57±1.63b
T3	15.78±0.17b	1.19±0.000 4a	94.53±1.80a	40.21±0.14c	138.16±1.89e	124.76±1.45b	6.98±0.03bcde	1.72±0.02a	60.71±8.92a
T4	13.15±0.52de	0.97±0.000 2fg	72.72±1.80c	38.90±0.39d	140.94±1.95e	110.96±1.24c	6.93±0.03def	1.35±0.01de	16.05±1.48b
T5	15.26±0.44bc	0.99±0.002 2ef	58.69±1.80d	24.67±0.27h	152.06±2.46d	93.74±1.39f	6.83±0.03f	1.60±0.03b	28.28±2.30b
T6	15.99±0.46b	1.07±0.000 8c	46.23±0.90e	21.89±0.68j	202.10±3.62b	97.85±1.03e	6.86±0.01ef	1.41±0.02cd	22.37±1.38b
T7	14.59±0.40bcd	0.96±0.001 2fg	44.67±1.80e	22.48±0.37ij	120.56±1.69g	80.12±1.88h	6.89±0.08ef	1.34±0.02e	15.89±1.08b
T8	15.08±0.13bc	1.00±0.001 5e	44.67±1.80e	23.18±0.24i	151.14±1.75d	85.27±0.88g	7.11±0.02ab	1.46±0.04c	0.00
T9	17.66±0.39a	1.01±0.000 3de	43.11±1.80e	47.32±0.78a	223.42±24.25a	84.36±1.37g	7.10±0.06abc	1.28±0.02f	0.00
T10	15.71±0.16b	1.04±0.001 1d	56.61±0.90d	41.70±0.34b	171.52±1.54c	78.31±1.45h	7.24±0.03a	1.14±0.02g	26.31±2.54b

## 2.4 大白菜产量、品质与土壤养分积累的相关性

表 4 为大白菜产量、品质与土壤养分的相关性分析。由表可见,大白菜产量与维生素 C、土壤速效氮和 EC 呈极显著正相关。硝酸盐和土壤速效氮、EC、土壤速效钾和土壤有机质间存在极显著正

相关。

适量减少氮肥用量、增施生物有机肥可以有效改善土壤 EC,增加土壤有机质,促进养分积累,协调大白菜生育期养分的吸收,提高氮素利用效率,并最终实现增产增效。

表 4 大白菜产量、品质与土壤养分的相关性分析

Tab.4 Correlation analysis of Chinese cabbage yield, quality and soil nutrients

	Y	$C_p$	$S_s$	$V_c$	$N_c$	$N_{ic}$	$O_m$	$T_n$	$R_{an}$	$A_{p'}$	$R_{ap}$	$EC$
Y	1.00											
$C_p$	0.51	1.00										
$S_s$	0.18	0.70 **	1.00									
$V_c$	0.81 **	0.60 *	0.35	1.00								
$N_c$	0.57 *	0.31	0.15	0.37	1.00							
$N_{ic}$	-0.03	0.36	0.17	-0.30	0.25	1.00						
$O_m$	-0.25	0.37	0.63 *	0.01	-0.28	-0.13	1.00					
$T_n$	0.51	0.64 *	0.44	0.51	0.60 *	-0.04	0.28	1.00				
$R_{an}$	0.79 **	0.52	0.17	0.68 *	0.85 **	0.15	-0.29	0.62 *	1.00			
$A_{p'}$	0.03	0.19	0.00	0.23	-0.02	0.04	0.29	0.08	0.22	1.00		
$R_{ap}$	-0.16	0.13	0.36	-0.24	-0.13	-0.02	0.78 **	0.29	-0.21	0.29	1.00	
$EC$	0.89 **	0.31	0.08	0.70 **	0.79 **	-0.05	-0.37	0.50	0.85 **	-0.01	-0.23	1.00

注: \* 和 \*\* 分别表示在 0.05 和 0.01 水平上具有统计学意义

## 3 讨论

有机肥对蔬菜产量和品质的影响,关键在于改善了根际土壤生态环境,为蔬菜作物提供养分,同时改变了酶活性等微环境<sup>[16]</sup>。文中研究表明,氮肥减量配施生物有机肥对大白菜产量和品质具有重要的影响,其中处理 T3 的产量最高,为 307.43 t/hm<sup>2</sup>,品质也显著改善,这一结果与 KONG 等<sup>[17]</sup>研究不同,认为投入无机肥越高,产量越高,这或许与土壤基础地力有很大关系;土壤肥力较高的条件下,减施化肥并增施有机肥对于品质改善具有显著作用,且对产量影响不大;土壤肥力较低条件下,会导致产量及品质降低。文中研究地块为春马铃薯+秋茬白菜种植模式,且多年种植,前茬马铃薯施用

化学肥料量较大,基础土壤肥力较高,适当配施有机肥有利于品质、产量提高。其中处理 T3 有机肥替代 15% 化肥氮较佳。研究<sup>[18]</sup>表明,生物有机肥除了为土壤提供养分外,也富含大量有益菌和作物所需微量元素,可改善土壤结构,促进土壤中团聚体的组成与分布,增强光合作用,为提高蔬菜产量和品质奠定基础。此外,产量与维生素 C、粗蛋白和可溶性糖间存在极显著正相关,可能与有机肥改善土壤根系微生态,促进养分吸收,改善植株生长,提高大白菜品质,影响产量有很大关系。

土壤酶是评价土壤肥力重要指标<sup>[19]</sup>。文中研究表明,氮肥减量配施生物有机肥对大白菜田的土壤酶活性影响很大,这与李瑞霞等<sup>[20]</sup>的研究相似。有研究<sup>[21]</sup>表明,生物有机肥和普通有机肥均能显著提高土壤脲酶、磷酸酶和蔗糖酶活性,生物有

机肥优于普通有机肥.有机肥中含有大量酶,为土壤提供酶,在改善土壤理化性质时,调节土壤碳氮比 C/N,提高土壤多种酶的活性;同时有机肥也为土壤酶提供更多、更丰富的酶促基质;再者,施用有机肥可以提高土壤腐殖质含量,而腐殖质能够通过离子交换、离子键或共价键等与土壤酶结合,固定土壤酶<sup>[22]</sup>.脲酶活性反映土壤供氮能力,速效氮含量高的土壤具有较高参与碳循环的酶活性,而磷酸酶反映了土壤有机磷的分解转化能力,蔗糖酶参与有机碳的循环.除受土壤结构、土壤肥力外,酶活性间接影响生物群落.韩丽娜等<sup>[23]</sup>在大白菜上研究表明,生物有机肥优于普通有机肥在于有机肥提供了有益菌群.

文中研究结果表明,氮肥减量及配施生物有机肥对土壤氮磷钾含量及氮肥利用率均有不同程度的提升,其中处理 T3 的氮肥利用率最高,为 60.71%,这一结果与山楠等<sup>[24]</sup>研究不同:认为有机肥替代降低了氮肥利用率,这或许与有机肥料缓效性有关.氮肥利用率与土壤养分积累、有机质、微生物和酶活性等有很大关系,通过各因素相互作用,调节养分的释放、吸附、结合和利用,减少矿质营养流失,进而影响肥料利用率.文中研究表明,在一定范围内减施化肥氮、增施有机肥可显著提高大白菜肥料利用效率,因有机肥补充可以提高土壤速效氮磷钾养分含量,进而提升土壤的肥力.此外,施用有机肥能改善土壤的理化性质,促进根系生长,提高作物对氮素的吸收和利用.土壤碱解氮、有效磷、速效钾含量增加与离子交换量有很大关系,土壤离子间代换量提高,能显著增加土壤养分含量.土壤速效氮与产量、有机质与速效钾间的正相关,与生物有机肥提供土壤营养、增加土壤肥力,提高土壤有机质含量、改善土壤生态环境,提供土壤有益菌群、调节土壤 C/N,促进植株地上地下生长、增加产量有很大关系.

## 4 结 论

氮肥减量配施有机肥提高了大白菜产量,改善了其品质,其中处理 T3 的产量最高,达 307.43 t/hm<sup>2</sup>.与常规施肥相比,氮肥减量配施生物有机肥有效提高了土壤脲酶、蔗糖酶及碱性磷酸酶活性,促进了土壤养分积累,提高了氮肥利用率.综上,处理 T3(常规减施化肥 N 15%+有机肥替代 N 15%)效果最佳.

## 参考文献(References)

- [ 1 ] 巨晓棠,谷保静.我国农田氮肥施用现状、问题及趋势[J].植物营养与肥料学报,2014,20(4):783-795.  
JU Xiaotang, GU Baojing. Status-quo, problem and trend of nitrogen fertilization in China[J]. Journal of plant nutrition and fertilizers, 2014, 20(4): 783-795. (in Chinese)
- [ 2 ] 蔡荣,陶素敏.中国农业化肥投入效率空间差异及动态变迁[J].华中农业大学学报(社会科学版),2020(6):57-66,163.  
CAI Rong, TAO Sumin. Spatial difference and dynamic change of agricultural fertilizer input efficiency in China[J]. Journal of Huazhong Agricultural University(social sciences edition), 2020(6):57-66,163.(in Chinese)
- [ 3 ] 罗付香,林超文,刘海涛,等.不同施氮量对紫色土大白菜季产量和氨挥发的影响[J].植物营养与肥料学报,2018,24(3):685-692.  
LUO Fuxiang, LIN Chaowen, LIU Haitao, et al. Effect of nitrogen rates on cabbage yield and ammonia volatilization in purple soil[J]. Journal of plant nutrition and fertilizers, 2018,24(3):685-692.(in Chinese)
- [ 4 ] 王善高,田旭,周应恒.中国农业化肥施用量增长原因分解及其削减潜力分析[J].生态经济,2019,35(3):115-121.  
WANG Shangao, TIAN Xu, ZHOU Yingheng. Analysis on the reasons for increase of agricultural chemical fertilizer in China and the potential of reducing it[J]. Ecological economy, 2019, 35(3): 115-121.(in Chinese)
- [ 5 ] 丁少男,薛芝,刘国彬,等.长期施肥对黄土丘陵区农田土壤微量元素有效含量的影响[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2017,45(1):124-130.  
DING Shaonan, XUE Zhi, LIU Guobin, et al. Effect of long-term fertilization on soil microelements of farmland in hilly region of the Loess Plateau[J]. Journal of Northwest A & F University(natural science edition), 2017, 45(1): 124-130.(in Chinese)
- [ 6 ] SIX J, ELLIOT E T, PAUSTIAN K, et al. Aggregation and soil organic matter accumulation in cultivated and native grassland soils[J]. Soil Science Society of American journal, 1998,62: 1367-1377.
- [ 7 ] 吴宪,张婷,王蕊,等.化肥减量配施有机肥和秸秆对华北潮土团聚体分布及稳定性的影响[J].生态环境学报,2020,29(5):933-941.  
WU Xian, ZHANG Ting, WANG Rui, et al. Effects of chemical fertilizer reduction combined with application of organic fertilizer and straw on fluvo-aquic soil aggregate distribution and stability in north China[J]. Ecology and

- environmental sciences, 2020, 29 ( 5 ): 933 - 941. ( in Chinese )
- [ 8 ] ZHOU H, FANG H, HU C S, et al. Inorganic fertilization effects on the structure of a calcareous silt loam soil [ J ]. Agronomy journal, 2017, 109 ( 6 ): 2871 - 2880.
- [ 9 ] GE G F, LI Z J, FAN F L, et al. Soil biological activity and their seasonal variations in response to long-term application of organic and inorganic fertilizers [ J ]. Plant and soil, 2010, 326 ( 1/2 ): 31 - 44.
- [ 10 ] MIKHA M M, RICE C W. Tillage and manure effects on soil and aggregate-associated carbon and nitrogen [ J ]. Soil Science Society of America journal, 2004, 68 ( 3 ): 809 - 816.
- [ 11 ] 王春宏,贾茹,马晓东,等.商品有机肥与无机肥配施对白菜品质和产量的影响 [ J ].北方园艺, 2015 ( 11 ): 169 - 172.  
WANG Chunhong, JIA Ru, MA Xiaodong, et al. Effect of combined application of organic and inorganic fertilizer on quality and yield of Chinese Cabbage [ J ]. Northern horticulture, 2015 ( 11 ): 169 - 172. ( in Chinese )
- [ 12 ] 白红梅,姜伟,薛国萍,等.不同肥料配比对白菜产量和品质的影响 [ J ].北方农业学报, 2020, 48 ( 5 ): 104 - 108.  
BAI Hongmei, JIANG Wei, XUE Guoping, et al. Effect of different fertilizer ratio on yield and quality of Chinese cabbage [ J ]. Journal of northern agriculture, 2020, 48 ( 5 ): 104 - 108. ( in Chinese )
- [ 13 ] 宁川川,王建武,蔡昆争,等.有机肥对土壤肥力和土壤环境质量的影响研究进展 [ J ].生态环境学报, 2016, 25 ( 1 ): 175 - 181.  
NING Chuanchuan, WANG Jianwu, CAI Kunzheng, et al. The effects of organic fertilizers on soil fertility and soil environmental quality: a review [ J ]. Ecology and environmental sciences, 2016, 25 ( 1 ): 175 - 181. ( in Chinese )
- [ 14 ] 关松荫.土壤酶及其研究法 [ M ].北京:中国农业出版社, 1986: 274 - 340.
- [ 15 ] 鲁如坤.土壤农业化学分析方法 [ M ].北京:中国农业科技出版社, 2000: 147 - 149, 168.
- [ 16 ] AI C, ZHANG S Q, ZHANG X, et al. Distinct responses of soil bacterial and fungal communities to changes in fertilization regime and crop rotation [ J ]. Geoderma, 2018, 319: 156 - 166.
- [ 17 ] KONG X B, LAL R, LI B G, et al. Fertilizer intensification and its impacts in China's HHH Plains [ J ]. Advance agronomy, 2014, 125: 135 - 169.
- [ 18 ] 刘中良,宇万太.土壤团聚体中有机碳研究进展 [ J ].中国生态农业学报, 2011, 19 ( 2 ): 447 - 455.  
LIU Zhongliang, YU Wantai. Review of researches on soil aggregate and soil organic carbon [ J ]. Chinese journal of eco-agriculture, 2011, 19 ( 2 ): 447 - 455. ( in Chinese )
- [ 19 ] 王理德,王方琳,郭春秀,等.土壤酶学研究进展 [ J ].土壤, 2016, 48 ( 1 ): 12 - 21.  
WANG Lide, WANG Fanglin, GUO Chunxiu, et al. Review: progress of soil enzymology [ J ]. Soils, 2016, 48 ( 1 ): 12 - 21. ( in Chinese )
- [ 20 ] 李瑞霞,陈巍,蔡枫,等.贵州木霉 NJAU4742 生物有机肥对番茄种植的影响 [ J ].南京农业大学学报, 2017, 40 ( 3 ): 464 - 472.  
LI Ruixia, CHEN Wei, CAI Feng, et al. Effects of *Trichoderma*-enriched biofertilizer on tomato plant growth and fruit quality [ J ]. Journal of Nanjing Agricultural University, 2017, 40 ( 3 ): 464 - 472. ( in Chinese )
- [ 21 ] BASTIDA F, KANDELER E, HERNANDEZ T, et al. Long-term effect of municipal solid waste amendment on microbial abundance and humus-associated enzymed activities under semiarid conditions [ J ]. Microbial ecology, 2008, 55: 651 - 661.
- [ 22 ] BOWLES T M, ACOSTA-MARTÍNEZ V, CALDERÓN F, et al. Soil enzyme activities, microbial communities, and carbon and nitrogen availability in organic agroecosystems across an intensively-managed agricultural landscape [ J ]. Soil biology and biochemistry, 2014, 68: 252 - 262.
- [ 23 ] 韩丽娜,丁哲利,曾会才,等.功能性有机肥对大白菜生长的影响 [ J ].浙江农业学报, 2016, 28 ( 10 ): 1718 - 1723.  
HAN Lina, DING Zheli, ZENG Huicai, et al. Effect of functional organic fertilizer on growth of Chinese cabbage [ J ]. Acta agriculturae Zhejiangensis, 2016, 28 ( 10 ): 1718 - 1723. ( in Chinese )
- [ 24 ] 山楠,串丽敏,刘继培,等.基于产量反应和农学效率的白菜推荐施肥方法可行性研究 [ J ].植物营养与肥料学报, 2020, 26 ( 9 ): 1681 - 1690.  
SHAN Nan, CHUAN Limin, LIU Jipei, et al. Availability of fertilizer recommendation based on yield response and agronomic efficiency of Chinese cabbage [ J ]. Journal of plant nutrition and fertilizers, 2020, 26 ( 9 ): 1681 - 1690. ( in Chinese )

(责任编辑 张文涛)