

沙壤土条件下减氮配施有机肥对茴香苗菜土壤养分及产量的影响

王晓军¹, 马廷吉², 王东清³, 刘 华³, 马 斌³

(1. 宁夏农林科学院固原分院 宁夏固原 756000; 2. 固原市原州区林业和草原局 宁夏固原 756000;

3. 宁夏农林科学院林业与草地生态研究所 银川 750021)

摘 要:以茴香品种民勤2号为材料,通过大田试验,设置6个处理,即不施氮肥和有机肥(CK),减氮0%+有机肥(CF),减氮100%+有机肥(M),减氮25%+有机肥(MF1),减氮50%+有机肥(MF2),减氮65%+有机肥(MF3),研究减氮配施有机肥对沙壤土中种植的茴香苗菜株高、生物量(鲜质量和干质量)、产量、土壤微生物量碳氮含量和土壤养分含量的影响。结果表明,在配施有机肥相同的情况下,茴香苗菜株高、生物量、产量、土壤微生物量碳和氮含量及养分(全钾除外)含量随施氮量减少均呈先增高后降低的趋势。MF2处理产量最高,与CK相比显著增加,与MF1和MF3处理相比增加不显著,但与其他处理相比增加显著;MF2处理可以显著增加茴香苗菜土壤微生物量碳、氮含量,而CF处理则可有效提高土壤微生物量碳氮比;与CK相比,MF2处理可以显著提高土壤有机碳、全氮、全磷、速效磷、速效氮和速效钾含量。综合茴香苗菜产量及土壤各指标,在本试验条件下,减氮50%配施有机肥为最佳施肥处理,研究结果可为宁夏中部干旱区土壤肥料管理提供科学依据。

关键词:茴香苗菜;减氮措施;有机肥;生物量;土壤养分;产量

中图分类号:S636.9

文献标志码:A

文章编号:1673-2871(2025)07-199-07

Effects of nitrogen reduction combined with organic fertilizer on soil nutrients and yield of fennel seedling under sandy loam soil conditions

WANG Xiaojun¹, MA Tingji², WANG Dongqing³, LIU Hua³, MA Bin³

(1. Guyuan Branch of Ningxia Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Guyuan 756000, Ningxia, China; 2. Forestry and Grassland Bureau of Yanzhou District, Guyuan City, Guyuan 756000, Ningxia, China; 3. Institute of Forestry and Grassland Ecology, Ningxia Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Yinchuan 750021, Ningxia, China)

Abstract: Taking the fennel variety Minqin No. 2 as the material, through field experiments, six treatments were set up, namely, no nitrogen fertilizer and organic fertilizer as the control (CK), 0% nitrogen reduction+organic fertilizer (CF), 100% nitrogen reduction+organic fertilizer (M), 25% nitrogen reduction+organic fertilizer (MF1), 50% nitrogen reduction+organic fertilizer (MF2), and 65% nitrogen reduction+organic fertilizer (MF3). To study the effects of nitrogen reduction combined with organic fertilizer application on plant height, biomass (fresh mass and dry mass), yield, soil microbial biomass carbon/nitrogen content and soil nutrients of fennel seedlings grown under sandy loam soil conditions. The results showed that under the condition of applying equal amount of organic fertilizer, the plant height, biomass, yield, soil microbial biomass carbon/nitrogen content and nutrients of fennel seedlings show a trend of first increasing and then decreasing with the increase of nitrogen reduction. The yield of MF2 treatment was the highest, which was significantly increased compared with CK, the increase was not significant compared with the MF1 and MF3 treatments, but it was significant compared with other treatments. MF2 treatment could significantly increase the carbon and nitrogen content of soil microbial biomass in fennel seedlings, while CF treatment could effectively improve the carbon and nitrogen ratio of soil microbial biomass. Compared with CK, MF2 treatment could significantly increase the content of soil organic carbon, total nitrogen, total phosphorus, available phosphorus, available nitrogen and available potassium. Based on the yield of fennel seedlings and various soil indicators, under the conditions of this experiment, reducing nitrogen by 50% com-

收稿日期:2024-07-19;修回日期:2025-03-05

基金项目:宁夏农业科技自主创新资金专项项目(NKYG-25-10);宁夏回族自治区农业科技自主创新资金项目(NGSB-2021-16-5)

作者简介:王晓军,男,助理研究员,主要研究方向为植物营养与测土配方施肥和旱地土壤质量提升。E-mail:1449820235@qq.com

通信作者:王东清,女,助理研究员,主要从事药用植物资源研究与利用、荒漠化防治研究等工作。E-mail:wangdongqing2046@163.com

combined with the application of organic fertilizer is the optimal fertilization treatment, which can provide a scientific basis for soil and fertilizer management in the arid area of central Ningxia.

Key words: Fennel seedling; Nitrogen reduction measure; Organic fertilizer; Biomass; Soil nutrients; Yield

宁夏中部干旱区农业属典型的一年一熟制旱地农业,降水少但蒸发强烈,长期以来,传统的耕作方式使土壤退化严重,病虫害增加,作物产量和耕地质量下降,已成为制约宁夏中部干旱区农业发展的重要问题之一^[1]。氮是茴香生长发育所必需的营养元素,施用氮肥也是提高茴香苗菜产量的重要手段之一,但施氮过量不仅会加大农业生产投入,而且也会引发一系列环境问题^[2-4]。此外,大量未被利用的氮、磷、钾等营养元素也会随降雨和灌水进入江河湖泊,造成水体富营养化,影响人们的用水安全^[5]。因此,减氮配施有机肥是宁夏中部干旱区农业发展的主要方向。

减氮配施有机肥既能控制施肥量,又可以提高和维持土壤肥力,确保作物稳产丰收。研究表明,减氮配施有机肥不但可以提高作物产量^[6],而且能提高土壤质量,改善化肥使用带来的各种环境问题^[7]。有机肥含有丰富的养分,能改善土壤物理性状,提高土壤有机质含量^[8-9],施入有机肥后,可以显著增加土壤中碱解氮、有效磷、速效钾含量^[10]。有机肥中也含有多种生物活性物质及菌类,能够为作物提供各种营养元素,从而促进作物生长,提高作物产量与品质^[11]。研究表明,减氮配施有机肥可以提高植物对土壤中有机质及氮、磷、钾等矿质元素的有效利用^[12]。侯萌瑶^[13]研究表明,减氮增施有机肥可以促进小麦茎秆和籽粒中磷素的积累,且随有机肥施用量的增加,小麦籽粒中磷含量也逐渐增加。高乾等^[14]研究表明,与单施化肥相比,减氮20%配施绿肥能使水稻产量提高6.76%。丁焕新等^[15]研究也表明,与单施化肥相比,减氮55%配施有机肥可使水稻增产9.42%。郑亮等^[16]研究认为,减氮50%配施猪粪的土壤中微生物量碳显著高于单施化肥,但微生物量氮处理间无显著差异。林治安等^[17]研究表明,化肥减少50%后作物产量明显降低。近年来,单施有机肥^[18-19]或有机肥与化肥配施^[20-21]的试验研究报道很多,但关于减氮配施有机肥对作物农艺性状及产量、土壤微生物量、土壤养分含量影响的研究结论不尽一致。因此,本研究以茴香苗菜为材料,在宁夏中部干旱区海原县开展大田试验,分析沙壤土中茴香苗菜株高、生物量、产量、土壤微生物量及养分含量对减氮配施有机肥处理的响应,为当地减氮配施有机肥技术的推广、维持宁夏中部干旱

区土壤可持续利用提供实践指导。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

试验地点位于宁夏中卫市海原县关桥乡张湾村,属于干旱或半干旱地区,为大陆性季风气候。年平均有效降水为360 mm,年均蒸发量为2200 mm,有效降水时空差异较大,多集中在7、8月份。2022年总降水量为115.26 mm,茴香生育期(4—9月)降水量为68.05 mm。试验地土壤肥力较低,为沙壤土。0~40 cm土壤理化性质如下:速效氮含量(w ,后同)为 $30.61 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,速效磷含量为 $24.69 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,速效钾含量为 $95.68 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,全氮含量为 $0.14 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,全磷含量为 $0.63 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,全钾含量为 $18.2 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,有机质含量为 $1.21 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,pH为8.61,试验地前茬为小茴香。

1.2 试验设计

根据当地农民的施肥习惯,并参考其他文献中中药材的用肥量确定本次试验中化肥和有机肥的用量^[22-23]。试验采用随机区组设计,设置6个处理:CK(不施 $\text{N}+0 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 有机肥);CF($\text{N} 161 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}+9000 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 有机肥,减氮0%);M(不施 $\text{N}+9000 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 有机肥,减氮100%);MF1($\text{N} 120.75 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}+9000 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 有机肥,减氮25%);MF2($\text{N} 80.5 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}+9000 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 有机肥,减氮50%);MF3($\text{N} 56.35 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}+9000 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 有机肥,减氮65%)。各处理磷、钾用量相同,分别为 $\text{P}_2\text{O}_5 36.00 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, $\text{K}_2\text{O} 105.00 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,施用的有机肥所含磷钾量需计入各处理的总磷钾中。试验使用的过磷酸钙(含 $\text{P}_2\text{O}_5 16\%$)、硫酸钾(含 $\text{K}_2\text{O} 50\%$)和有机肥(为腐熟羊粪,有机质、 N 、 P_2O_5 、 K_2O 含量分别为35.6%、2.15%、0.32%、1.52%)全部做基肥,尿素(含 $\text{N} 46\%$)70%做基肥,30%分2次追施,其中抽薹期追施20%,花叶期追施10%。试验小区长10 m,宽5 m,面积 50 m^2 ,3次重复,小区间隔1.5 m,试验区外设置5 m保护行。供试茴香品种为民勤2号(由宁夏农林科学院林业与草业研究所提供),种植密度为 $5 \text{ 万株} \cdot 667 \text{ m}^2$ 。茴香于2022年4月2日播种,4月28日出苗,5月16日茴香抽薹期前测定苗菜产量。其他田间管理与当地农户保持一致。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 土壤取样 2022 年茴香收获后在各小区利用土钻按五点取样法采集 0~30 cm 耕层土样,同小区取样点土样同层混合,作为 1 次重复,每个样品 3 次重复,田间采集的原状土用硬质塑料盒运回实验室,进行测试分析。采集的原状土去除杂质后自然风干,粉碎后过 1 mm 筛,保存样品,用于测定土壤理化性质及微生物量碳、氮含量。

1.3.2 土壤养分测定及方法 采用重铬酸钾外加热法测定土壤有机碳含量;采用开氏消煮法测定土壤全氮含量;采用硫酸-高氯酸消煮法测定土壤全磷含量;采用 NaOH 熔融-火焰光度计法测定土壤全钾含量;采用碱解扩散法测定土壤速效氮含量;采用碳酸氢钠浸提-钼锑抗比色法测定有效磷含量;采用乙酸铵浸提-火焰光度计法测定速效钾含量^[24]。测定结果以风干基表示。采用 K₂SO₄-氯仿熏蒸法测定土壤微生物量碳、氮含量(MBC、MBN)^[25],并计算微生物量碳氮比。

1.3.3 茴香农艺性状及产量的测定 茴香抽薹期前,每个小区(边行除外)选取代表性植株 5 株,用直尺测量株高(植株主茎最顶端到地面的高度),每个处理 3 次重复,最后计算平均值。测量茴香株高的同时随机在每个小区取样 5 株,取地上部用电子秤测定鲜质量,然后将样品在 105 ℃下杀青 30 min,置于 80 ℃恒温烘至恒质量,冷却至室温后用电子秤测定干质量。根据单株鲜质量和种植密度计算茴香苗菜产量。茴香苗菜产量/(kg·667 m²)=单株鲜质量×种植密度。

1.4 数据处理

采用 Microsoft Excel 2010 整理试验数据,采用 SPSS 20.0 软件进行方差分析和相关分析(Pearson),用 Duncan 法进行差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 不同施肥处理对茴香苗菜农艺性状及产量的影响

由表 1 可知,与 CK 相比,MF2、MF3 处理显著提高了茴香苗的株高及产量,其他处理与 CK 无显著差异。随着施氮量的减少,茴香苗株高呈先升高后降低的趋势,MF2 处理最高,为 91.80 cm,较 CK、CF 和 M 处理分别增加了 148.65%、62.39%和 75.69%;茴香苗菜单株鲜质量和干质量随施氮比例的减少均呈先增加后降低的趋势,且 MF3 处理最高,分别为 68.23、8.68 g·株⁻¹。与 CK 相比,MF2、MF3 处

理显著提高了茴香苗菜产量,其他处理虽也提高了茴香苗菜产量,但与 CK 差异不显著,MF2 处理产量最高,为 116.77 kg·667 m²,较 CK、CF 和 M 处理分别增加了 147.03%、78.00%和 107.52%;其次是 MF3 处理,为 107.53 kg·667 m²,较 MF1 处理增加了 11.86 kg·667 m²,较 MF2 处理减少了 9.24 kg·667 m²。说明适宜的施氮比例配施有机肥可以显著提高茴香苗菜株高和产量,但当施氮比例减少超过一定程度后作物的株高和产量均会减少。

表 1 不同施肥处理对茴香苗菜农艺性状及产量的影响

Table 1 Effects of different fertilization treatments on fennel agronomic traits and yield

处理 Treatment	株高 Plant height/cm	鲜质量 Fresh mass/ (g·plant ⁻¹)	干质量 Dry mass/ (g·plant ⁻¹)	产量 Yield/ (kg·667 m ²)
CK	36.92±4.69 b	48.37±11.56 b	6.07±1.37 b	47.27±12.13 b
CF	56.53±15.57 ab	49.40±12.74 b	6.42±1.26 b	65.60±13.54 b
M	52.25±12.36 ab	49.32±8.65 b	6.23±0.65 b	56.27±8.96 b
MF1	59.13±8.78 ab	62.00±8.90 a	7.92±1.19 ab	95.67±7.30 ab
MF2	91.80±15.97 a	66.87±4.38 a	8.34±0.77 a	116.77±3.38 a
MF3	79.23±13.34 a	68.23±11.73 a	8.68±0.88 a	107.53±6.02 a

注:同列不同小写字母表示各处理间差异显著($p<0.05$)。下同。

Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant differences between treatments ($p<0.05$). The same below.

2.2 不同施肥处理对茴香苗菜土壤微生物量碳、氮含量及微生物量碳氮比的影响

由表 2 可知,减氮配施有机肥对茴香苗菜土壤微生物量碳、氮含量及土壤微生物量碳氮比有一定影响。CK 处理土壤微生物量碳、氮含量最低。与 CK 相比,减氮配施有机肥处理则显著提高了土壤微生物量碳、氮含量。MF2 处理土壤微生物量碳含量较 CF、M、MF3 处理显著增加,与 MF1 处理无显

表 2 施肥对茴香苗菜土壤微生物量碳、氮含量及微生物量碳氮比的影响

Table 2 Effects of fertilization on soil microbial biomass carbon, nitrogen content and microbial biomass carbon-nitrogen ratio of fennel

处理 Treatment	w(微生物量碳) MBC content/ (mg·kg ⁻¹)	w(微生物量氮) MBN content/ (mg·kg ⁻¹)	微生物量碳氮比 MB C/N
CK	157.97±27.29 c	18.33±3.18 c	8.87±1.24 ab
CF	270.00±27.98 b	26.00±3.21 bc	10.81±1.89 a
M	264.32±31.56 b	35.68±4.25 ab	7.41±2.35 b
MF1	319.00±30.47 ab	36.67±2.73 ab	8.90±1.37 ab
MF2	390.73±13.68 a	45.00±4.04 a	8.85±1.00 ab
MF3	285.93±29.63 b	37.67±2.19 ab	7.67±1.02 b

著差异;MF2 处理土壤微生物量氮含量较 CF、CK 处理增加显著,与其他处理无显著差异。土壤微生物量碳、氮含量均随施氮量的减少先升高后降低。所有施肥处理中,M 处理土壤微生物量碳含量最低,为 $264.32 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,较 CK 提高了 67.32%,仅显著低于 MF2 处理,与其他处理无显著差异。M 处理土壤微生物量氮含量高于 CF 处理,虽低于其他施肥处理,但与其他各施肥处理间无显著差异。总体看来,与 CK 相比,减氮配施有机肥能显著增加土壤微生物量碳、氮含量。CF 处理土壤微生物量碳氮比最高,为 10.81,M 处理土壤微生物量碳氮比最低,为 7.41。随施氮量的减少,土壤微生物量碳氮比逐渐降低。

2.3 不同施肥处理对茴香苗菜土壤养分含量的影响

2.3.1 不同施肥处理对土壤有机碳含量的影响
由图 1 可知,与 CK 相比,减氮配施有机肥对茴香苗菜土壤有机碳含量影响显著。随着施氮量的减少,土壤有机碳含量呈先增高后降低的趋势,MF2 处理最高,为 $5.47 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,较 CK 处理显著提高了 117.06%,较 M 处理提高了 49.86%,与 CF、MF1 和

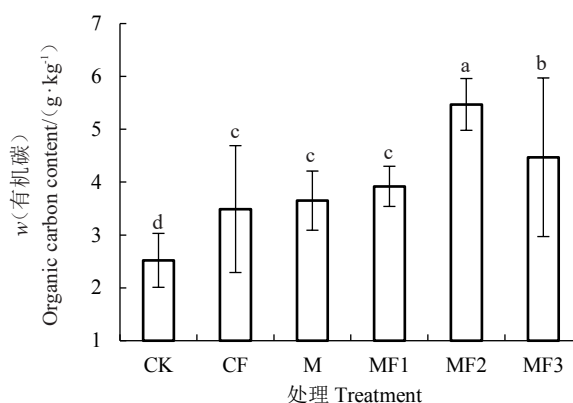


图 1 各处理土壤有机碳含量的变化

Fig. 1 Changes of soil organic carbon content in each treatment

MF3 处理相比,MF2 处理土壤有机碳含量显著增加,且减氮配施有机肥处理土壤有机碳含量均高于 CF 处理。说明在等量有机肥的情况下,适当减施氮肥有助于提高土壤有机碳含量,且以减氮 50%配施有机肥处理效果最优。

2.3.2 不同施肥处理对土壤全量养分含量的影响
由图 2 可知,随施氮量的减少,土壤全氮和全

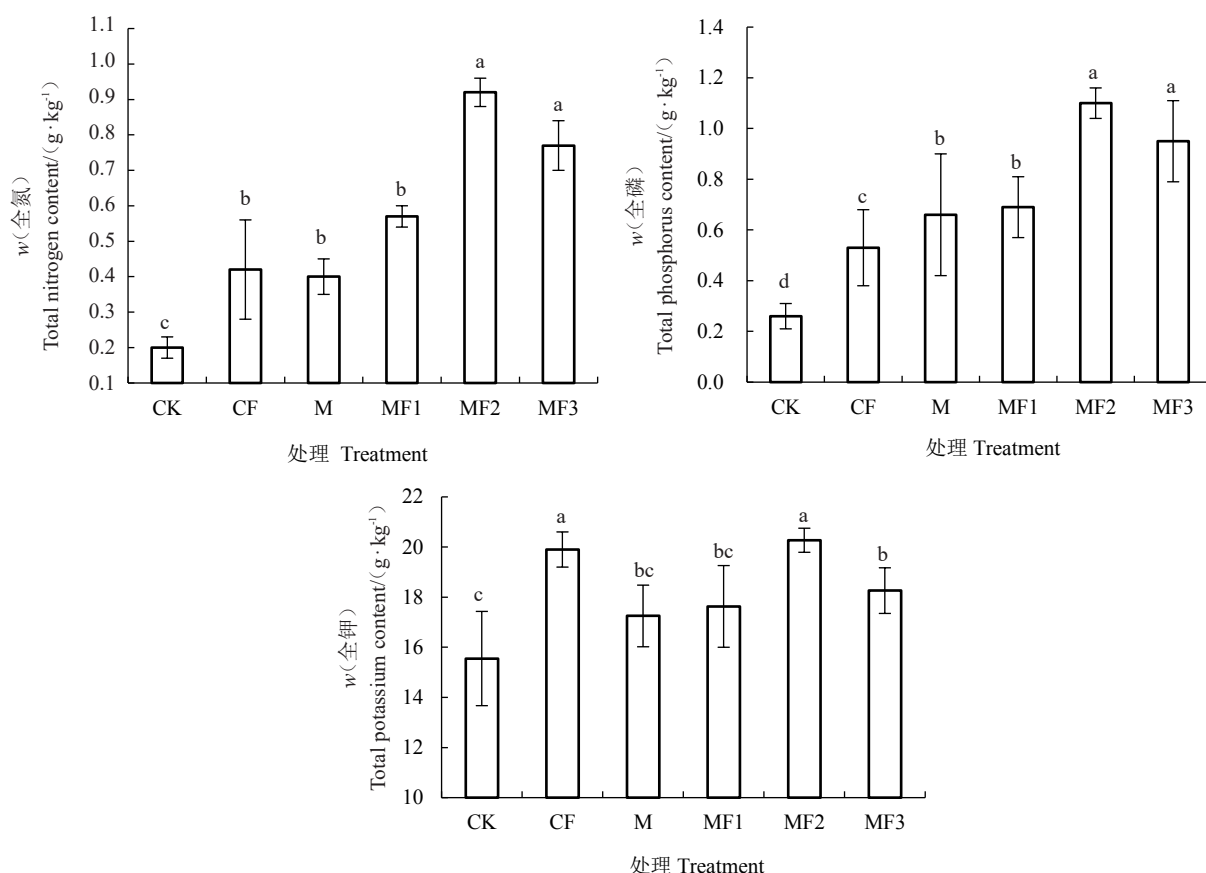


图 2 各处理土壤全量养分含量的变化

Fig. 2 Changes of total soil nutrients content in each treatment

磷含量均呈先升高后降低的趋势, MF2 处理均最高, 分别为 0.92 和 $1.10 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 较 CK 分别显著提高了 360.00% 和 323.08% , 较 M 处理分别显著提高 130.00% 和 66.67% , 与 MF1 和 CF 处理相比, MF2 处理土壤全氮和全磷含量显著增加, 但与 MF3 处理相比, MF2 处理增加不显著。土壤全钾含量 MF2 处理也最高, 为 $20.27 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 较 CK 显著增加了 30.35% , 较 M 处理显著增加了 17.51% , 与 MF1 和 MF3 处理相比显著增加, 与 CF 处理 ($19.90 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$) 相比差异不显著。说明在等量有机肥施入情况下, 减少氮肥施入, 对土壤全氮和全磷含量影响较大, 且减氮 50% 配施有机肥处理效果较优。但减少氮肥施入, 对土壤全钾含量影响无明显规律, 减氮 0% 和 50% 二者差异不显著。

2.3.3 不同施肥处理对土壤速效养分含量的影

响 由图 3 可知, 在等量有机肥条件下, 土壤速效氮含量在 MF2 处理达到最大, 为 $49.01 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 较 CK 和 M 处理分别显著增加了 218.25% 和 200.12% , 较 CF 和 MF1 处理显著增加, 与 MF3 处理差异不显著。与 CK 相比, MF2 和 MF3 处理土壤速效磷含量显著增加, 其余处理之间差异不显著。与 CK 相比, 所有施肥处理土壤速效钾含量均显著增加。其中, MF2 处理土壤速效磷和速效钾含量均最高, 分别为 59.72 和 $212.51 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 较 CK 分别显著提高了 688.90% 和 43.47% , 较 M 处理分别显著提高了 340.41% 和 20.96% , 同时, MF2 处理土壤速效磷和速效钾含量较 CF、MF1 和 MF3 处理均显著增加。综上所述, CF、M 和 MF1 处理对土壤速效氮、速效磷含量影响不显著, 对速效钾含量影响显著; MF2 和 MF3 处理对土壤速效氮含量影响差异不显著, 但对

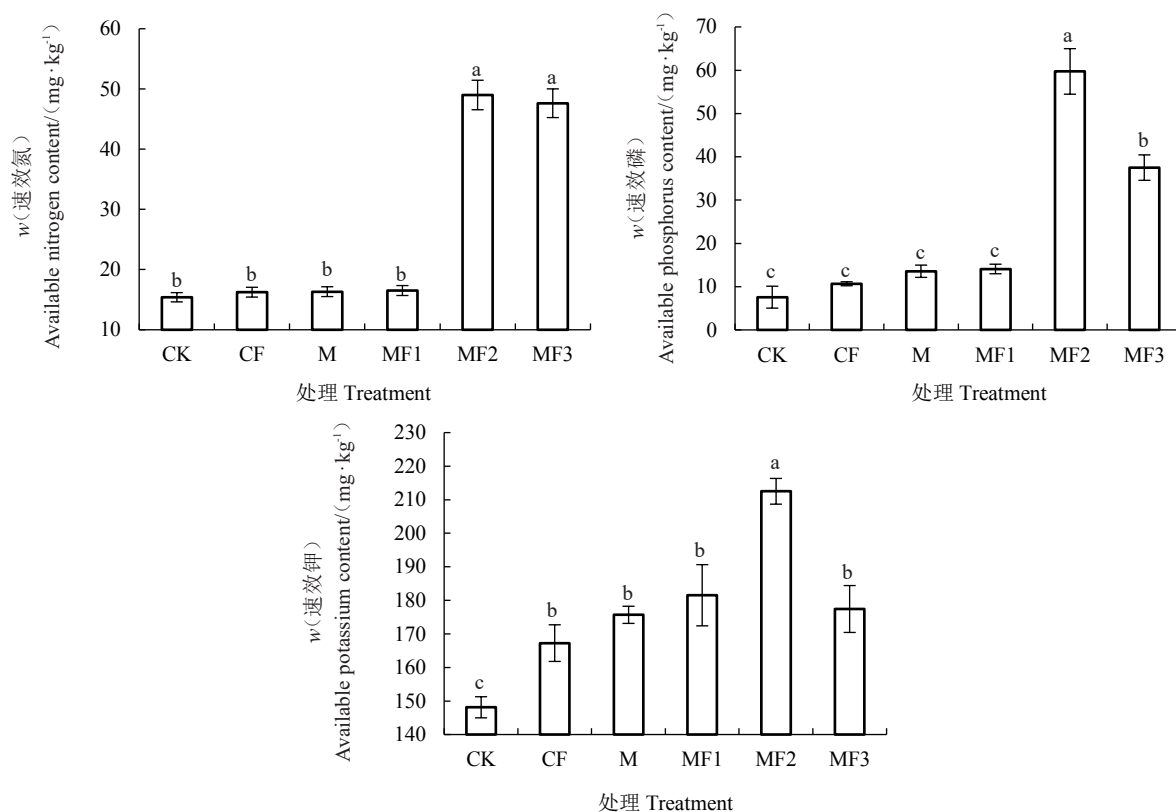


图 3 各处理土壤速效养分含量的变化

Fig. 3 Changes of soil available nutrients content in each treatment

土壤速效磷和速效钾含量影响差异显著。MF2 处理各项指标均优于 MF3 处理, 即减氮 50% 处理优于减氮 65% 处理。

3 讨论与结论

化肥和有机肥均能提高作物产量, 改善作物地

上部生长状况^[26], 且化肥配施有机肥效果更加明显, 其原因是化肥配施有机肥改善了土壤理化性状, 提高了土壤有机碳和氮磷钾含量, 促进了作物生长^[27]。Song 等^[28]研究表明, 盐渍土壤中施用蚯蚓粪可显著促进植株生物量积累。张正昊^[29]研究表明, 在沙化土壤中添加 20% 牛粪可改善土壤理化性质,

显著提高油菜和紫花苜蓿的株高和生物量。本研究表明,在施用等量有机肥的情况下,随着氮肥施入量的减少,茴香苗菜产量和株高先增加后降低,且 MF2 处理均最高,这可能是减氮 50% 配施有机肥改变了土壤中氮素的供应,使土壤养分能够平稳释放^[30],同时,也平衡了土壤中的养分,弥补了有机肥的不足,使整个生育期茴香养分供给充足^[31-34],同时也有研究表明,不同化肥和有机肥配施,肥效存在一定差异^[35]。本试验中,在施用等量有机肥时,随着施氮量的减少,茴香苗菜土壤有机碳、全氮、全磷、速效磷、速效氮和速效钾含量均呈先增高后降低趋势,其中 MF2 处理土壤有机碳、全氮、全磷、速效磷、速效氮和速效钾含量最高。这与张诗雨^[36]的研究一致,同时也表明减氮 50% 配施一定量有机肥可以使更多的养分在土壤中停留和积累,提高土壤养分利用率。

有研究表明,施肥能提高土壤微生物量碳、氮含量,且化肥与有机肥二者配施肥效更加明显^[37]。本试验中,在施用等量有机肥的情况下,随着氮肥施入量减少,土壤微生物量碳、氮含量均先升高后降低,减氮 50% 配施有机肥处理(MF2)显著提高了土壤微生物量碳、氮含量,且明显高于 CF、M、MF1 和 MF3 处理,化肥配施有机肥不仅增加了土壤养分含量,而且也为微生物提供了充足的碳源,使土壤微生物碳、氮含量明显升高,同时,减氮 50% 配施有机肥有效改善了土壤性质,进而促进了土壤中有效菌数的增加,刺激了土壤微生物的生长和繁殖^[38],李静^[39]研究表明,与单施化肥相比,减氮配施有机肥的处理土壤微生物量碳、氮含量显著提高,这与本研究结论一致。土壤微生物量碳氮比可以反映土壤中的氮素有效性,氮素有效性与微生物量碳氮比呈反比^[40-41],当土壤微生物量碳氮比为 5 时,有利于细菌和放线菌的生长,当土壤微生物量碳氮比为 10 时,有利于真菌的生长^[42]。在本试验中施用等量有机肥的情况下,随着施氮量的降低,土壤微生物量碳氮比呈下降趋势,在减氮 0% 时,土壤微生物量碳氮比最大,为 10.81,而减氮 100% 时土壤微生物量碳氮比最低,为 7.41,说明减氮配施有机肥处理使土壤中的微生物种类由真菌向细菌转化,而细菌增多有利于土壤中物质的转化;并且有研究表明多种细菌都可以提高土壤中有效氮和有效磷含量^[43]。

在本试验中,减氮 50% 配施有机肥处理茴香苗菜的株高和产量均最高,且该处理的土壤微生物量碳、氮、有机碳、全氮、全磷、速效磷、速效氮和速效钾含量也最高。综上所述,减氮 50% 配施有机肥为

最佳施肥处理。

参考文献

- [1] LI X Y, GONG J, WEI X. In-situ rainwater harvesting and gravel mulch combination for corn production in the drysemi-arid of China[J]. *Journal of Arid Environments*. 2000, 46: 371-382.
- [2] 朱兆良, 孙波, 杨林章, 等. 我国农业面源污染的控制政策和措施[J]. *农业*, 2005, 23(4): 47-51.
- [3] 张维理, 田哲旭, 张宁, 等. 我国北方农用氮肥造成地下水硝酸盐污染的调查[J]. *植物营养与肥料学报*, 1995, 1(2): 80-87.
- [4] LI S Y, LIU W Z, GU S, et al. Spatio temporal dynamics of nutrients in the upper Han River basin, China[J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2009, 162(2/3): 1340-1346.
- [5] PAL M, YADAV S, KAPLEY A, et al. Impact of cyanobacterial bloom on microbiomes offreshwater lakes[J]. *Journal of Biosciences*, 2021, 46: 96.
- [6] 陶磊, 褚贵新, 刘涛, 等. 有机肥替代部分化肥对长期连作棉田产量、土壤微生物数量及酶活性的影响[J]. *生态学报*, 2014, 34(21): 6137-6146.
- [7] 郭萍, 文庭池, 董玲玲, 等. 施肥对土壤养分含量、微生物数量和酶活性的影响[J]. *农业现代化研究*, 2011, 32(3): 362-366.
- [8] 何翠琴, 李贵春, 尹昌斌, 等. 有机肥氮投入比例对土壤微生物碳源利用特征的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2018, 24(2): 383-393.
- [9] 谭军利, 马永鑫, 王西娜, 等. 生物有机肥替代氮肥对压砂西瓜生长、产量及品质的影响[J]. *北方园艺*, 2022(7): 30-38.
- [10] 李燕青, 温延臣, 林治安, 等. 不同有机肥与化肥配施对氮素利用率和土壤肥力的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2019, 25(10): 1669-1678.
- [11] 张迎春, 顾建明, 李静, 等. 生物有机肥部分替代化肥对莴笋及土壤理化性质和微生物的影响[J]. *水土保持学报*, 2019, 33(4): 196-205.
- [12] 宇万太, 姜子绍, 马强, 等. 施用有机肥对土壤肥力的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2009, 15(5): 1057-1064.
- [13] 侯萌瑶. 华北两熟区不同培肥措施对小麦养分吸收和产量的影响[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2017.
- [14] 高乾, 党姝, 黄雪林, 等. 有机无机肥配施-化肥减量技术研究[J]. *北方水稻*, 2022, 52(4): 19-22.
- [15] 丁焕新, 吴锡棋, 陆阳. 有机无机肥配施对稻麦产量及土壤质量的影响[J]. *浙江农业科学*, 2021, 62(3): 505-507.
- [16] 郑亮, 沈健林, 邹冬生, 等. 猪粪化肥配施对双季稻田土壤活性碳氮含量及水稻产量的影响[J]. *农业现代化研究*, 2014, 35(5): 633-639.
- [17] 林治安, 赵秉强, 袁亮, 等. 长期定位施肥对土壤养分与作物产量的影响[J]. *中国农业科学*, 2009, 42(8): 2809-2819.
- [18] 张鹏, 贾志宽, 路文涛, 等. 不同有机肥施用量对宁南旱区土壤养分、酶活性及作物生产力的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2011, 17(5): 1122-1130.
- [19] 周桦, 马强, 姜子绍, 等. 有机肥用量对玉米体内养分浓度及分配的影响[J]. *中国生态农业报*, 2009, 17(4): 647-650.
- [20] 陆海飞, 郑金伟, 余喜初, 等. 长期无机有机肥配施对红壤性水稻土微生物群落多样性及酶活性的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2015, 21(3): 632-643.

- [21] 张靖,王平,刘淑英,等.有机无机肥配施对甘肃省秦王川灌区蚕豆产量、养分吸收量及肥料利用率的影响[J].干旱地区农业研究,2017,31(1):154-159.
- [22] 王丹,侯俊玲,万春阳,等.中药材施肥研究进展[J].土壤通报,2011,42(1):225-228.
- [23] 曾波,何忠俊,毛昆明,等.药用植物施肥研究进展[J].云南农业大学学报,2007,22(4):587-592.
- [24] 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.
- [25] 吴金水,林启美,黄巧云,等.土壤微生物生物量测定方法及其应用[M].北京:气象出版社,2006.
- [26] 卢萍,杨林章,单玉华,等.绿肥和秸秆还田对稻田土壤供氮能力及产量的影响[J].土壤通报,2007,38(1):39-42.
- [27] 刘敏,纪立东,王锐,等.沼液配施化肥对土壤质量及作物生长的影响[J].中国土壤与肥料,2022(5):68-76.
- [28] SONG X L, LI H B, SONG J X. et al, Biochar/vermicompost promotes hybrid *Pennisetum* plant growth and soil enzyme activity in saline soils[J]. Plant Physiology and Biochemistry, 2022, 183:96-110.
- [29] 张正昊.煤基固废与牛粪混合肥料在沙化土壤改良中的持续作用效果研究[D].呼和浩特:内蒙古大学,2019:18-25.
- [30] 王艳博,黄启为,孟琳,等.有机无机肥料配施对菠菜生长和土壤供氮特性的影响[J].南京农业大学学报,2006,29(3):44-48.
- [31] 刘艳妮,马臣,于昕阳,等.基于不同降水年型渭北旱塬小麦-土壤系统氮素表观平衡的氮肥用量研究[J].植物营养与肥料学报,2018,24(3):569-578.
- [32] 吴玉红,王吕,崔月贞,等.轮作模式及秸秆还田对水稻产量、稻米品质及土壤肥力的影响[J].植物营养与肥料学报,2021,27(11):1926-1937.
- [33] 刘彦伶,李渝,白怡婧,等.长期不同施肥对水稻干物质和磷素积累与转运的影响[J].植物营养与肥料学报,2019,25(7):1146-1156.
- [34] 由晓璇,许桂玲,冯跃华,等.减氮配施有机肥对喀斯特地区稻田土壤微生物量和酶活性及杂交籼稻产量的影响[J].作物研究,2023,37(2):116-123.
- [35] 郑兰君,曾广永,王鹏飞.有机肥、化肥长期配合施用对水稻产量及土壤养分的影响[J].中国农学通报,2001,17(3):48-50.
- [36] 张诗雨.长期施肥对连作土壤肥力及微生物多样性的影响[D].沈阳:沈阳农业大学,2017.
- [37] 刘恩科,赵秉强,李秀英,等.长期施肥对土壤微生物量及土壤酶活性的影响[J].植物生态学报,2008,32(1):176-182.
- [38] 王兴龙,朱敏,杨帆,等.配施有机肥减氮对川中丘区土壤微生物量与酶活性的影响[J].水土保持学报,2017,31(3):271-277.
- [39] 李静.稻麦轮作下有机无机肥料配施对作物生长及土壤微生物特性的影响研究[D].南京:南京农业大学,2015.
- [40] 朱利霞,岳善超,沈玉芳,等.施氮和覆膜对旱作春玉米农田土壤微生物量和土壤酶活性的影响[J].干旱地区农业研究,2019,37(1):130-136.
- [41] 张成兰,艾绍英,杨少海,等.双季稻-绿肥种植系统下长期施肥对赤红壤性状的影响[J].水土保持学报,2016,30(5):184-189.
- [42] WARDLE D A. Controls of temporal variability of the soil microbial biomass: A global-scale synthesis[J]. Soil Biology and Biochemistry, 1998,30(13):1627-1637.
- [43] 张红,王桂良.沼液和氮肥配施对菜田土壤微生物生物量和活性的影响[J].安徽农业科学,2011,39(27):16601-16603.