

化肥减量配施有机肥和微生物菌剂 对麦后复种娃娃菜产量与品质的影响

夏成明, 史嘉莉, 马 栋, 于若飞

(酒泉市农业科学研究院 甘肃酒泉 735000)

摘要: 研究化肥减量配施有机肥和微生物菌剂对娃娃菜生长、产量及品质的影响, 为麦后复种娃娃菜科学施肥提供依据。以娃娃菜品种春玉黄为试验材料, 设置常规施肥、化肥减量增施不同比例有机肥和微生物菌剂等 7 个处理, 测定娃娃菜株高、地上部和地下部干鲜质量、鲜菜产量、净菜产量、净菜率以及维生素 C、可溶性总糖、矿物质元素含量等指标, 研究不同处理对麦后复种娃娃菜生长、生物产量和经济产量的影响。结果表明, 化肥减施并增施有机肥能显著提高娃娃菜植株的株高、地上部和地下部干鲜质量、鲜菜产量和净菜产量; 适量减少化肥并配施有机肥和微生物菌剂可以促进娃娃菜生长并获得高产, 同时能显著提高娃娃菜维生素 C、可溶性总糖、可溶性固形物和 Ca、Fe、Zn 矿物质元素的含量, 提升娃娃菜的品质和营养价值。化肥减施配施有机肥和微生物菌剂各处理均可以提高娃娃菜的品质和产量, 其中以 JF4 处理(化肥减施 40%+增施有机肥 7500 kg·hm²+微生物菌剂 75 kg·hm²)效果最佳, 可作为该区域麦后复种娃娃菜的优化施肥方案。

关键词: 化肥减量配施; 麦后复种; 娃娃菜; 产量; 品质

中图分类号: S634.1

文献标志码: A

文章编号: 1673-2871(2024)10-132-09

Effects of reducing chemical fertilizer application combined with organic fertilizer and microbial inoculant on yield and quality of post-wheat cropping baby cabbage

XIA Chengming, SHI Jiali, MA Dong, YU Ruofei

(Jiuquan Institute of Agricultural Sciences Research, Jiuquan 735000, Gansu, China)

Abstract: In order to establish a foundation for scientific fertilization in the post-wheat cultivation of Chinese cabbage (*Brassica rapa* var. *chinensis*), this experiment studied the effects of reducing chemical fertilizer in combination with organic fertilizer and microbial inoculant on the growth, yield, and quality of baby Chinese cabbage. The Chunyu Huang variety of baby Chinese cabbage served as the experimental material. Seven treatments were set up, including conventional fertilization, reducing chemical fertilizer mixed with increasing organic fertilizer, and microbial inoculant. The plant height, dry and flesh mass of aboveground and underground plant parts, flesh vegetable yield, net vegetable yield, netvegetable rate, as well as the concentration of vitamin C, total soluble sugar, and various mineral elements were measured. The results showed that reducing fertilizer application and increasing organic fertilizer could significantly increase plant height, dry and fresh mass of aboveground and underground parts, fresh vegetable yield and net vegetable yield of baby cabbage plants. Appropriate reduction of chemical fertilizer combined with organic fertilizer and microbial agent could promote the growth and high yield of baby cabbage, and significantly increase the content of vitamin C, soluble total sugar, soluble solid, as well as Ca, Fe and Zn mineral elements in baby cabbage, which improved its quality and nutritional value. The quality and yield of baby cabbage were improved by chemical fertilizer reduction combined with organic fertilizer and microbial microbial agent, among which JF4 treatment (chemical fertilizer reduction by 40%+organic fertilizer increase by 7500 kg·hm²+microbial microbial agent 75 kg·hm²) had the best effect, which could be used as an optimal fertilization scheme for multiple planting baby cabbage after wheat in this region.

Key words: Reducing chemical fertilizer application; Post-wheat cropping; Baby cabbage; Yield; Quality

收稿日期: 2024-07-28; 修回日期: 2024-08-20

基金项目: 河西走廊中西部增碳培肥产能提升多样化种植技术模式集成与示范(2022YFD1900204)

作者简介: 夏成明, 男, 助理研究员, 研究方向为作物多样性与可持续农业。E-mail: 616565621@qq.com

通信作者: 于若飞, 男, 助理研究员, 研究方向为作物多样化种植与智慧农业。E-mail: 268128818@qq.com

娃娃菜(*Brassica rapa* subsp. *pekinensis*)是十字花科芸薹属白菜亚种的一种袖珍型小株白菜^[1],营养丰富,富含多种矿物质和膳食纤维^[2],有较强的抗寒冷特性并且易于贮存运输,具有较高的食用价值和经济效益。近年来,娃娃菜已经成为甘肃省河西灌区高原夏菜主要种植作物中的一员。酒泉市地属河西走廊西部绿洲灌区,属典型的一年一熟有余、两熟不足区,春小麦7月中旬收获至初霜日,有70 d生长日数, $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 积温 $1500\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右,且60%的降水分布在8—10月,光热资源基本满足一茬作物的生长。麦后复种娃娃菜是该区域的高效种植类型之一,不仅能增加种植收益,提高光照、热量和土地等资源的利用效率,还能延长耕地的绿色植被覆盖期,有助于缓解水土流失问题^[3-4]。化肥过量施用可能引发一系列问题,如土壤中的有机物减少、土壤板结,进而削弱其自我调节的能力;同时也会对蔬菜的质量与产出产生负面效应,甚至可能会带来严重的环境破坏及经济损失^[5]。因此,寻求科学合理的化肥配施方案在提升蔬菜产量与品质、保护耕地环境和增加当地农民经济收益等方面具有重要意义。研究表明,有机肥具有更为稳定的肥力效果,与微生物菌剂替代一部分化学肥料,能改良土壤,促进作物生长,提高农产品品质和产值^[6-8];增施

有机肥和微生物菌剂,可提高作物根系活力,提高植株对养分的吸收能力^[9-11]。适度减施化肥可维持叶菜产量、效益和品质,提高氮磷钾利用率,减少养分残留^[12-13];化肥减施配施生物有机肥可以促进蔬菜养分合理分配和吸收积累,提质增产效果显著^[14-15]。施用微生物菌剂可以提高商品白菜的净菜率和维生素C含量,同时降低植株中氮素的浓度,提高作物的品质^[16]。总之,化肥减量配施有机肥、微生物菌剂均可提高作物产量和品质,但关于化肥减量配施有机肥和微生物菌剂对麦后复种娃娃菜影响的研究鲜见报道。笔者以娃娃菜春玉黄作为研究对象,研究化肥减量增施有机肥和微生物菌剂对娃娃菜生长、产量及品质的影响,以期确定适宜的肥料用量,促进该地区娃娃菜产业发展提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于2023年7—11月在甘肃省酒泉市盛利农业专业合作社进行,该合作社位于肃州区上坝镇上坝村的千亩高原夏菜示范基地,平均气温 $7.3\text{ }^{\circ}\text{C}$,全年平均降水量85 mm,年蒸发量2418 mm,无霜期145 d,供试土壤类型属于沙壤土,0~20 cm耕层土壤理化性质详见表1。

表1 供试土壤基础理化性质

Table 1 Basic physicochemical property of test soil

指标 Index	w(有机质) Organic matter content/ ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	w(全氮) Total nitrogen content/ ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	w(全磷) Total phosphorus content/ ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	w(全钾) Total potassium content/ ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	w(碱解氮) Alkali- hydrolyzable nitrogen content/($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	w(有效磷) Available phosphorus content/ ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	w(速效钾) Available potassium content/ ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	pH
数值 Value	9.44	0.57	0.69	19.67	24.67	5.75	123.82	8.51

1.2 材料

供试娃娃菜品种为春玉黄,由北京华耐农业发展有限公司提供。供试肥料:尿素[N含量(w,后同)46.0%]、磷酸二铵(N含量18.0%、 P_2O_5 含量46.0%)、硫酸钾(K_2O 含量50.0%)、商品有机肥[(N+ P_2O_5 + K_2O)含量 $\geq 5\%$,有机质含量 $\geq 45\%$]由重庆市阿陀利生态农业有限责任公司提供,微生物菌剂(有效活菌数 ≥ 2.0 亿孢子 $\cdot\text{g}^{-1}$)由山东爱福地生物股份有限公司提供,中量元素水溶肥(Ca含量 $\geq 5\%$,Mg含量 $\geq 5\%$)和微量元素水溶肥(Fe含量 $\geq 2\%$,Mn含量 $\geq 2\%$,Cu含量 $\geq 2\%$,Zn含量 $\geq 2\%$,B含量 $\geq 2\%$)由沈阳中科新型肥料有限公司提供。

1.3 试验设计

试验共设7个处理,分别是常规施肥(CF),常规施肥+有机肥(ZF1),常规施肥+有机肥+微生物菌剂(ZF2),化肥减量10%+有机肥+微生物菌剂(JF1),化肥减量20%+有机肥+微生物菌剂(JF2),化肥减量30%+有机肥+微生物菌剂(JF3),化肥减量40%+有机肥+微生物菌剂(JF4);以常规施肥有机肥用量 $1500\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 为基准,每减少化肥纯量养分的10%,有机肥施用量为常规施肥处理有机肥用量的1倍+ $1500\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,以此类推。试验中商品有机肥用量根据化肥用量的变化进行相应调整,在化肥减量的处理组中,通过增加商品有机肥的施用量来补充因化肥减量可能导致的养分缺口,从而确保

作物所需的养分供应。此外,不同的有机肥用量设置有助于探索有机肥与化肥的最佳配比,从而优化施肥策略,提高作物产量和品质,同时减少对环境的负面影响。各处理中量元素水溶肥 30 kg·hm⁻²、微量元素水溶肥 6 kg·hm⁻²,各处理的肥料配施情况详见表 2。

表 2 不同试验处理的施肥量

Table 2 Fertilizer application amount for different experimental treatments (kg·hm⁻²)

处理 Treatment	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	商品有机肥 Commercial organic fertilizer	微生物 菌剂 Microbial inoculants
CF	180	150	90	0	0
ZF1	180	150	90	1500	0
ZF2	180	150	90	1500	75
JF1	162	135	81	3000	75
JF2	144	120	72	4500	75
JF3	126	105	63	6000	75
JF4	108	90	54	7500	75

小区面积 91.8 m²(18 m×5.1 m),株行距 30 cm×30 cm,每个处理 3 次重复,共 21 个小区,采用随机区组排列。2023 年 7 月 5 日播种育苗,8 月 6 日移苗定植,10 月 20 日采收。7 月 20 日春小麦收获后,氮肥的 15%、磷肥和钾肥的 30%、中微量元素水溶肥、有机肥和微生物菌剂全部作为基肥,整地时施入,剩余 85%氮肥、70%的磷肥和钾肥分别在娃娃菜莲座期(50%)、结球初期(30%)和结球中期(20%)分 3 次追施^[17-18],各处理除施肥量不同外,其他管理措施相同。

1.4 项目测定

娃娃菜收获时,每个小区避开边缘效应随机连续取 10 株,测定其株高、叶展幅、生物产量和经济产量^[19]。株高指娃娃菜从根基部到植株最高点的垂直距离,使用测量尺测量 10 株娃娃菜的株高,取平均值;叶展幅指娃娃菜叶片在自然状态下的最大展开宽度,使用测量尺测量 10 株娃娃菜两侧最远叶片之间的距离,取平均值;生物产量指娃娃菜整个植株的总质量,包括所有叶片、茎和根的质量,将 10 株娃娃菜清除泥土后称质量,计算平均生物产量,然后推算出 1 hm²的生物产量;经济产量指娃娃菜可以销售部分的质量,对每株娃娃菜剥去外部叶片后称量菜心质量,计算平均经济产量,然后推算出 1 hm²的经济产量;净菜率指娃娃菜的经济产量占生物产量的百分比。

另外,选取 5 个娃娃菜叶球,用刀沿中轴一分

为二,一半鲜菜样采用 2,6-二氯靛酚滴定法测定维生素 C 含量^[20],采用铜还原碘量法测定可溶性总糖含量^[21],采用折射仪法测定可溶性固形物含量^[22],采用高效液相色谱法测定有机酸含量^[23],采用非酶重量法测定粗纤维含量^[24],采用紫外分光光度法测定硝酸盐含量^[25];一半鲜菜烘干后,采用电感耦合等离子体发射光谱法(ICP-OES)测定娃娃菜矿物质元素 Fe、Zn、Mg 和 Ca 含量^[26]。分别在娃娃菜播种前和收获后,在各处理相对应的小区,取 0~20 cm 层的土壤样品测定土壤养分含量,包括 pH 以及有机质、全氮、全磷、全钾、碱解氮、有效磷和速效钾含量^[27-33]。

1.5 数据分析

基于 Excel 2010 进行数据初步统计分析,采用 SPSS 22.0 进行方差分析($p < 0.05$),采用 OriginPro 2022 软件绘图。

2 结果与分析

2.1 不同施肥处理对娃娃菜生长的影响

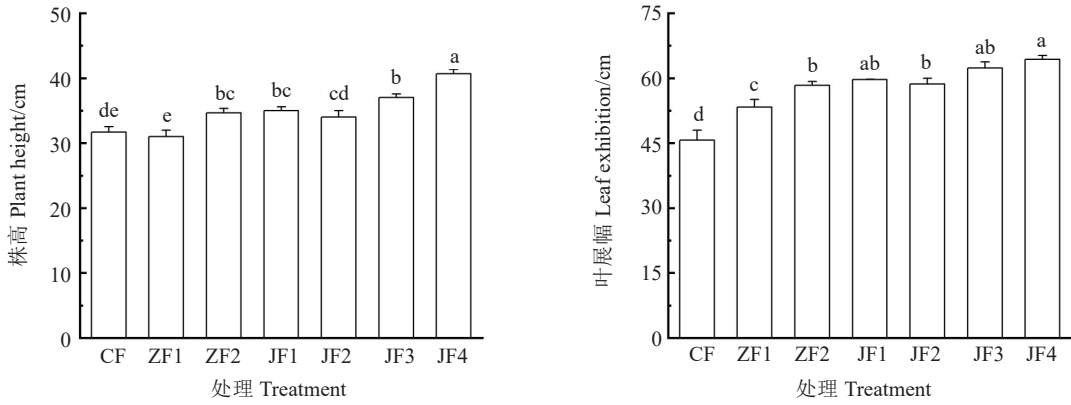
从图 1 可以看出,除 ZF1 处理外,其他处理均不同程度地提高了娃娃菜的株高和叶展幅,其中 JF4 处理的株高和叶展幅与 CF 相比,分别显著提高了 28.42%和 40.88%。可见在常规施肥的情况下,同时增施有机肥+微生物菌剂可以提高娃娃菜株高和叶展幅。在减少化肥施用量的情况下,增施有机肥+微生物菌剂,娃娃菜株高和叶展幅增加效果更为显著,其中减肥 40%+增施有机肥 7500 kg·hm⁻²+微生物菌剂 75 kg·hm⁻²促进娃娃菜生长效果最好。

2.2 不同施肥处理对娃娃菜干鲜质量的影响

由图 2 可知,与 CF 相比,JF4 处理的地上部鲜质量显著增加 62.72%,地下部鲜质量显著增加 52.12%,地上部干质量显著增加 46.00%,地下部干质量显著增加 53.05%。与常规施肥相比,增施有机肥和微生物菌剂能提高娃娃菜植株地上部和地下部的干鲜质量,但增施有机肥和微生物菌剂,同时减少常规施肥量,娃娃菜植株地上部与地下部增长效果更显著。

2.3 不同施肥处理对娃娃菜产量的影响

由图 3 可知,与 CF 相比,JF4 处理的鲜菜产量显著提高 62.72%,净菜产量显著提高 90.74%。JF4、JF3、JF2、JF1、ZF2 和 ZF1 处理的净菜产量均显著高于 CF,JF3、JF2、JF1、ZF2 和 ZF1 之间无显著差异,JF4 处理的净菜率高达 65.39%,显著高于其他



注:不同小写字母表示处理间在 0.05 水平差异显著。下同。

Note: Different small letters indicate significant difference between different treatments at 0.05 level. The same below.

图 1 不同施肥处理对娃娃菜的株高和叶展幅的影响

Fig. 1 Effects of different fertilization treatments on plant height and blade spread of baby cabbage

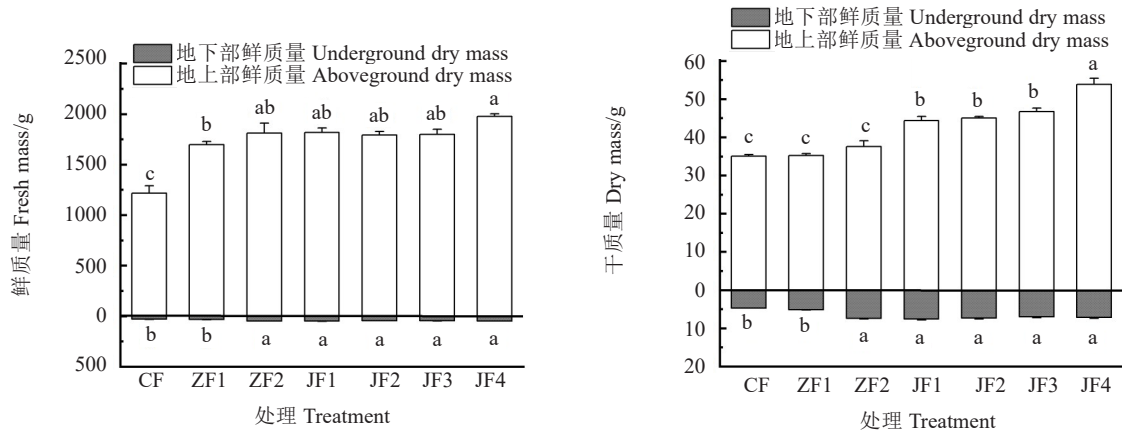


图 2 不同施肥处理对娃娃菜干鲜质量的影响

Fig. 2 Effects of different fertilization treatments on fresh and dry mass of baby cabbage

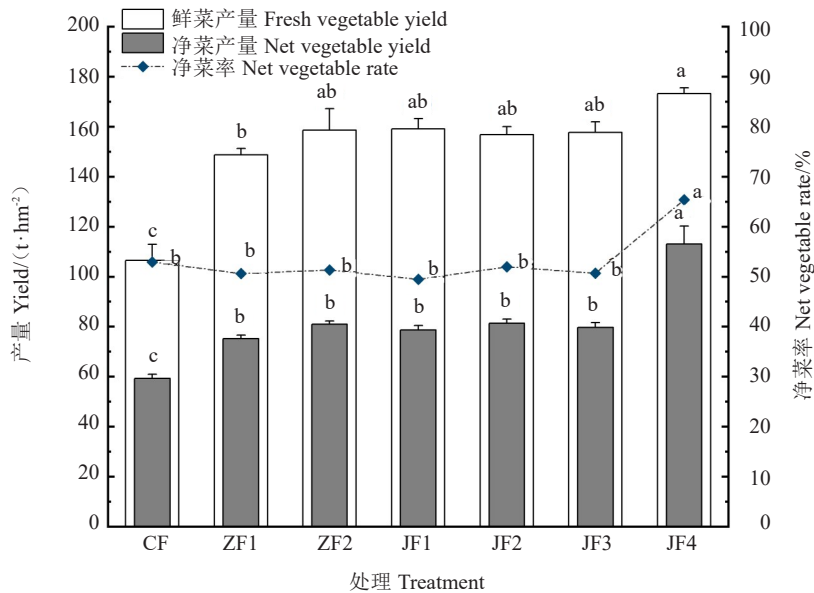


图 3 不同施肥处理对娃娃菜产量的影响

Fig. 3 Effects of different fertilization treatments on yield of baby cabbage

处理。与常规施肥相比,增施有机肥和微生物菌剂可显著提高娃娃菜的鲜菜产量和净菜产量,增施生物菌剂(ZF2)比单一的增施有机肥(ZF1),鲜菜产量和净菜产量分别增加了 9.90 和 5.78 t·hm⁻²,但二者差异不显著。增施有机肥,减少化肥施用量的 4 个处理,随着化肥施用量的减少、有机肥施用量的增加,鲜菜产量和净菜产量的变化并非单纯呈上升趋势,JF1 处理的鲜菜产量高于 JF2 和 JF3 处理,而 JF2 处理的净菜产量高于 JF3 处理,这表明鲜菜和净菜的产量在不同处理间有所波动,并没有随着有机肥施用量的增加或化肥施用量的减少而持续上升,但 JF4 处理(减肥 40%+增施有机肥 7500 kg·hm⁻²+微生物菌剂 75 kg·hm⁻²)的净菜产量和净菜率均显

著高于其他处理,表明该处理对提高净菜产量和净菜率的效果最好。

2.4 不同施肥处理对娃娃菜品质的影响

由图 4 可知,ZF1 和 ZF2 处理的维生素 C 含量相较于 CF 分别增加 3.19%和 17.45%。化肥减量配施有机肥+微生物菌剂可以显著提高娃娃菜维生素 C 含量,其中 JF4 处理的维生素 C 含量最高,显著高于其他处理,较 CF 显著提高了 33.58%。

以常规施肥为基础增施有机肥和微生物菌剂均可提高娃娃菜可溶性总糖和可溶性固形物含量。减少化肥施用量、增施有机肥+微生物菌剂的 4 个处理,可溶性总糖和可溶性固形物含量显著增加,其中 JF4 处理的含量最高,分别比 CF 显著增加

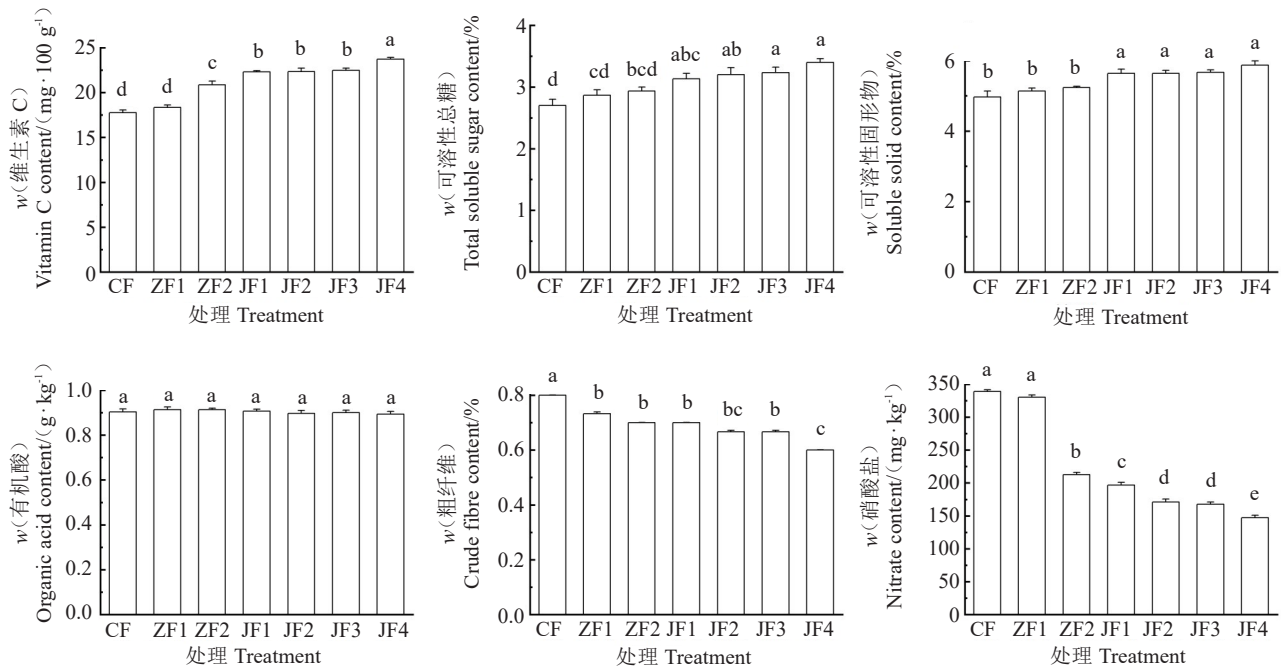


图 4 不同施肥处理对娃娃菜品质的影响

Fig. 4 Effects of different fertilization treatments on quality of baby cabbage

25.93%和 18.12%。

不同施肥处理的有机酸含量与 CF 无显著差异。随着有机肥和微生物菌剂施用量的增加,不同处理的粗纤维含量呈下降趋势,与 CF 相比,均显著减少,其中 JF4 处理的粗纤维含量显著减少 33.58%。与常规施肥相比,增施有机肥+微生物菌剂显著降低了娃娃菜硝酸盐含量。与 ZF2 处理相比,随着化肥施用量的减少,有机肥施用量的增加,JF1、JF2、JF3 和 JF4 硝酸盐的含量呈下降趋势,分别显著降低 7.52%、19.59%、21.16%和 30.72%,在化肥减施处理中以 JF4 处理降低硝酸盐含量的效果最好。

2.5 不同施肥处理对娃娃菜矿质元素含量的影响

由图 5 可知,以常规施肥为基础,增施有机肥娃娃菜中 Ca 含量较 CF 显著提高,化肥减量配施有机肥+微生物菌剂处理的 Fe、Zn 和 Ca 含量较 CF 显著提高,其中 JF4 处理对矿物质元素含量的提升效果最显著,与 CF 相比,JF4 处理的 Fe、Zn、Mg、Ca 含量分别显著提高 23.96%、114.39%、25.68%、23.96%。

2.6 不同施肥处理的娃娃菜生长、产量及品质指标的 PCA 和聚类分析

基于主成分分析(PCA)对测定的娃娃菜各项指标进行综合评价(图 6),结果表明,前两个主成分累积贡献率为 78.7%,其中 PC1 贡献率高达 66.1%,

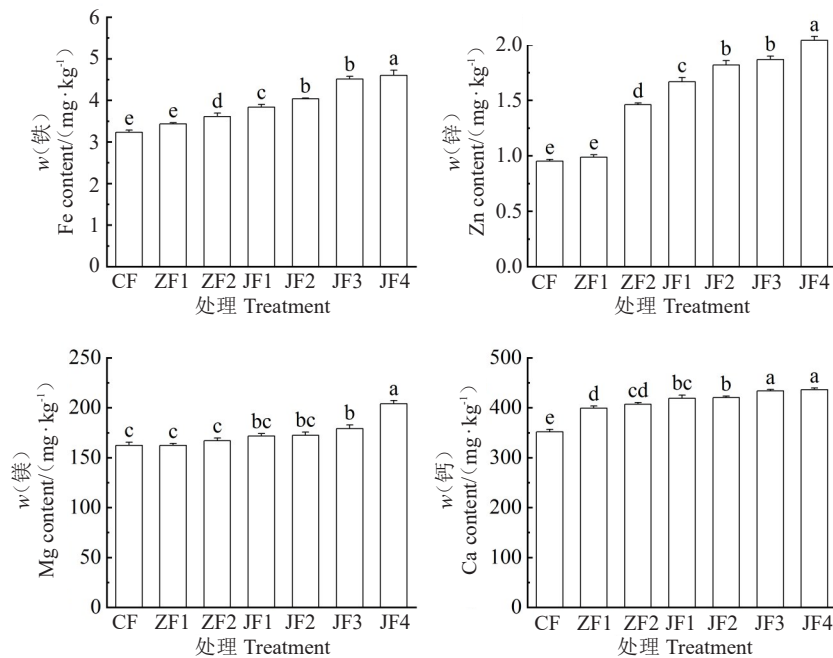


图 5 不同施肥处理对娃娃菜矿物质元素含量的影响

Fig. 5 Effects of different fertilization treatments on tmineral elements content of baby cabbage

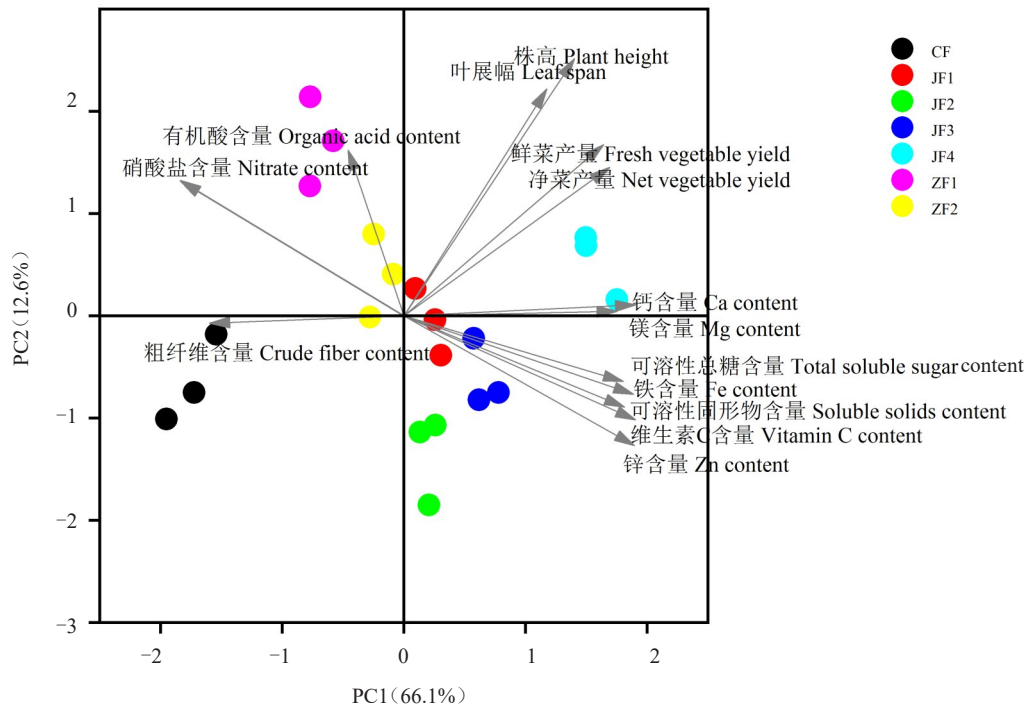


图 6 不同施肥处理对娃娃菜测定指标的主成分分析

Fig. 6 Principal component analysis of measured indices of baby vabbage under different fertilization treatments

PC2 贡献率为 12.6%,表明这两个指标可以充分反映原始数据的大部分信息。PC1 和 PC2 的特征值分别是 9.249 和 1.765,在 PC1 中,维生素 C 含量、Fe 含量、Zn 含量、Ca 含量、Mg 含量、可溶性固形物含量、可溶性总糖含量、鲜菜产量和净菜产量的荷载值较高;在 PC2 中,荷载值较高的指标是株高、叶

展幅、有机酸和硝酸盐含量。

采用热图作为聚类分析的表现形式,对娃娃菜产量和生长、品质等指标进行分析(图 7),发现其结果与主成分分析一致,7 个施肥处理聚为 3 类:CF 和 ZF1 处理聚为第 1 类,硝酸盐、有机酸和粗纤维含量较高;ZF2、JF1、JF2 和 JF3 处理聚为第 2 类,鲜

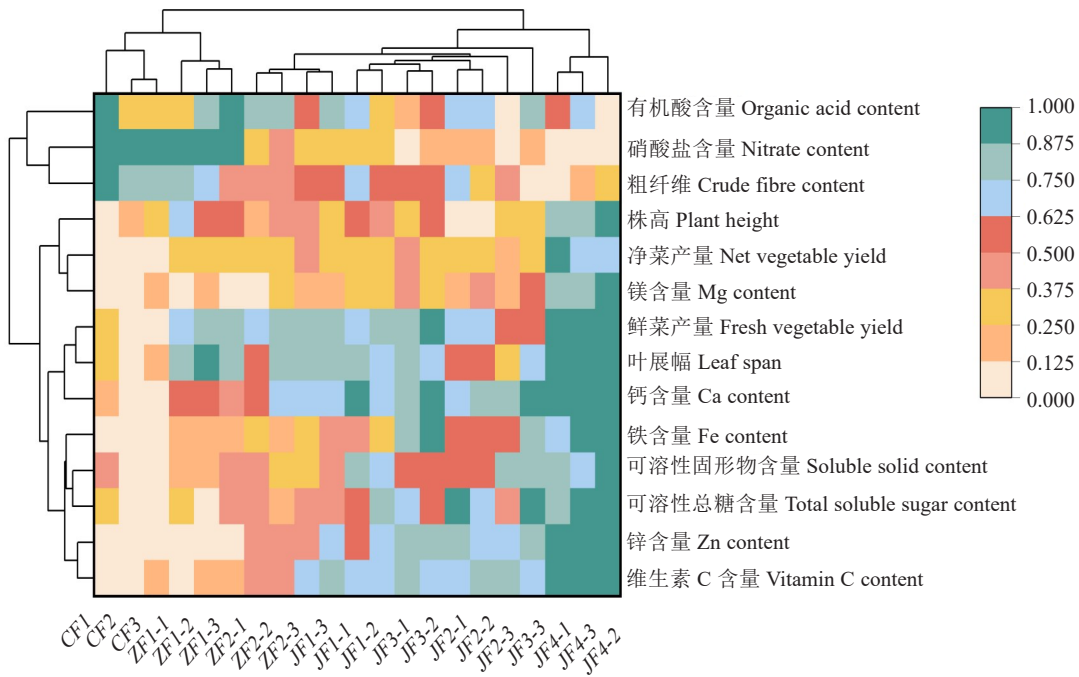


图7 不同施肥处理娃娃菜测定指标的聚类分析

Fig. 7 Cluster analysis of measured indices of baby cabbage under different fertilization treatments

菜产量和叶展幅值相对较高,其他指标均处于中间值;JF4 处理聚为第 3 类,维生素 C、可溶性总糖、可溶性固形物和矿质元素含量及产量均较高。综合分析,JF4 处理优于其他处理。

3 讨论与结论

化肥具有肥效快、易被作物吸收的特点,有机肥肥效缓慢持久,长期施用可以提高土壤质量,但不能及时满足作物关键期的养分需求,微生物菌剂可以将土壤中的多种难以被作物吸收的无效养分分解成为易吸收的有效养分,从而提高土壤有机质含量和养分利用效率。化肥减量并增施有机肥和微生物菌剂,在微生物活动和有机物转化过程中产生的有机酸可促进难溶性养分释放和作物生长、提高作物产量、改善作物品质^[12,34]。本研究表明,与常规施肥相比,增施有机肥和微生物菌剂可显著提高娃娃菜的鲜菜产量和净菜产量,增施微生物菌剂比单一的增施有机肥,鲜菜产量和净菜产量分别增加了 9.90 和 5.78 t·hm⁻²。随着化肥施用量的减少、有机肥施用量的增加,鲜菜产量和净菜产量的变化并非单纯呈上升趋势,鲜菜和净菜的产量在 JF1、JF2 和 JF3 处理之间有所波动,并没有随着有机肥施用量的增加或化肥施用量的减少而持续上升,JF4 处理的鲜菜产量、净菜产量

和净菜率均高于其他处理,显著高于 CF 和 ZF1 处理,这与李其勇等^[14]的研究结果相似。与常规施肥相比,增施有机肥+微生物菌剂显著降低了娃娃菜硝酸盐含量,与李永胜等^[12-13]的研究结果一致。与 ZF2 处理相比,JF1、JF2、JF3 和 JF4 硝酸盐的含量分别降低 7.52%、19.59%、21.16% 和 30.72%,在化肥减施处理中以 JF4 处理降低硝酸盐含量的效果最好。施用有机肥可提高作物维生素 C、可溶性固形物和可溶性糖含量^[35-36],化肥减施+增施有机肥可以促进蔬菜对矿物质元素的吸收^[37],显著提高娃娃菜可溶性糖、膳食纤维及维生素含量^[38],程彦第等^[39]、冯海萍等^[40]的研究也表现了类似的结果。在本研究中,常规施肥增施有机肥处理娃娃菜维生素 C 含量较常规施肥提高 3.19%~17.45%,但增施有机肥+微生物菌剂可以显著提高娃娃菜维生素 C 含量,JF4 处理的维生素 C 含量较 CF 显著提高了 33.58%,与刘红波等^[16]的研究结果一致。本研究也表明,化肥减量处理配施有机肥和微生物菌剂显著提高了娃娃菜可溶性总糖、可溶性固形物和矿物质元素(Fe、Zn 和 Ca)的含量,其中 JF4 处理的含量均表现最高;但不同处理间有机酸含量无显著差异,而粗纤维含量呈下降趋势,与 CF 相比,JF4 处理的娃娃菜粗纤维含量显著降低 33.58%。有机肥替代 50%无机肥

能够在保证粮食产量的同时提高土壤肥力^[41],而等比例氮、磷、钾养分条件下有机肥替代化肥 $\leq 50\%$ 的比例有利于提高作物产量和获得较高的经济效益^[42-43],本研究结果也表明了相似的趋势,化肥减量配施有机肥和微生物菌剂显著提高娃娃菜生物产量和经济产量,尤其是 JF4 处理的净菜产量和净菜率均显著高于其他处理。

综上所述,化肥减施配施有机肥和微生物菌剂可提高娃娃菜的品质和产量,主成分分析及聚类分析也表明,以 JF4 处理(化肥减施 40%+增施有机肥 7500 kg·hm⁻²+微生物菌剂 75 kg·hm⁻²)的效果最好,可作为本地区麦后复种娃娃菜的肥料配施模式,从而提高娃娃菜种植效益。

参考文献

- [1] 李文伟,毛涛,王勤礼,等.张掖市露地娃娃菜1年3茬“土壤调理剂+生物有机肥料+尾菜堆沤还田”优化施肥栽培技术[J].农业科技与信息,2020(19):6-8.
- [2] 许爱霞,牟龙,田强,等.不同农药在娃娃菜中的安全间隔期研究[J].中国果菜,2019,39(8):40-42.
- [3] 亢锦奇,何文寿.宁夏引黄灌区麦后复种饲料油菜新品种比较试验[J].安徽农业科学,2022,50(19):43-45.
- [4] 周鹏.麦后复种油菜有机无机肥配施与翻压方式对土壤肥力及作物产量的影响[D].银川:宁夏大学,2020.
- [5] PAVEL K, ANGEL M T, AMANULLAH. Fertilizer use, soil health and agricultural sustainability[J]. Agriculture, 2022, 12(4):462.
- [6] JIN N, JIN L, WANG S Y, et al. Reduced chemical fertilizer combined with bio-organic fertilizer affects the soil microbial community and yield and quality of lettuce[J]. Frontiers in Microbiology, 2022, 13:863325.
- [7] JIN L, JIN N, WANG S Y, et al. Changes in the microbial structure of the root soil and the yield of chinese baby cabbage by chemical fertilizer reduction with bio-organic fertilizer application[J]. Microbiology Spectrum, 2022, 10(6):e0121522.
- [8] SHI Y W, NIU X X, CHEN B Z, et al. Chemical fertilizer reduction combined with organic fertilizer affects the soil microbial community and diversity and yield of cotton[J]. Frontiers in Microbiology, 2023, 14:1295722.
- [9] 赵俊武,方永华,晏红梅,等.嵩明县蔬菜地土壤养分变化规律研究及改良利用对策[J].云南农业科技,2018(4):4-8.
- [10] LIU X, WANG F, ZHANG Y, et al. N fertilizer reduction combined with organic amendment enhances soil multifunctionality by altering nutrient availability and fungal community structure in an intensive grain production system[J]. Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 2024, 24(2):3969-3985.
- [11] 张义杰,张帅,粟珊,等.石林县三七仿生种植对根际土壤微生物多样性的影响[J].云南农业大学学报(自然科学),2021,36(3):487-493.
- [12] 李永胜,杜建军,张稳成,等.菜心减量优化施肥效应研究[J].北方园艺,2014(14):18-21.
- [13] 李永胜,杜建军,龙增群,等.不同肥料处理对菜心产量、品质及经济效益的影响[J].中国土壤与肥料,2013(3):49-52.
- [14] 李其勇,夏武奇,李星月,等.化肥减量配施商品有机肥对白菜生长及土壤养分的影响[J].北方园艺,2022(20):41-47.
- [15] 生兆平,王建凤.商品有机肥替代部分化肥作基肥对番茄植株性状、产量及效益的影响[J].上海蔬菜,2023(3):52-54.
- [16] 刘红波,乔志刚,王永铭,等.不同微生物菌剂对结球白菜产量和品质的影响[J].北方农业学报,2020,48(6):45-49.
- [17] 刘彦均,李菊,高天科,等.生物有机肥部分替代化肥对结球甘蓝养分吸收分配、品质和产量的影响[J].甘肃农业大学学报,2022,57(6):88-96.
- [18] 陈娟,赵青春,杜晓玉,等.不同配方水溶肥对结球生菜产量及品质的影响[J].蔬菜,2020(4):21-24.
- [19] 魏周秀,张文斌,王勤礼,等.张掖市钢架大棚秋茬娃娃菜品种比较试验[J].农业科技与信息,2022(8):13-15.
- [20] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会.食品安全国家标准 食品中抗坏血酸的测定:GB 5009.86—2016[S].北京:中国标准出版社,2016.
- [21] 中华人民共和国农业部.蔬菜及其制品中可溶性糖的测定 铜还原碘量法:NY/T 1278—2007[S].北京:中国标准出版社,2007.
- [22] 中华人民共和国农业部.水果和蔬菜可溶性固形物含量的测定 折射仪法:NY/T 2637—2014[S].北京:中国标准出版社,2015.
- [23] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会.食品安全国家标准 食品中有机酸的测定:GB 5009.157—2016[S].北京:中国标准出版社,2017.
- [24] 中华人民共和国卫生部,中国国家标准化管理委员会.植物类食品中粗纤维的测定:GB/T 5009.10—2003[S].北京:中国标准出版社,2004.
- [25] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会,国家食品药品监督管理总局.食品安全国家标准 食品中亚硝酸盐与硝酸盐的测定:GB 5009.33—2016[S].北京:中国标准出版社,2017.
- [26] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会,国家食品药品监督管理总局.食品安全国家标准 食品中多元素的测定:GB 5009.268—2016[S].北京:中国标准出版社,2017.
- [27] 中华人民共和国农业部.土壤检测 第2部分:土壤pH的测定:NY/T 1121.2—2006[S].北京:中国标准出版社,2006.
- [28] 中华人民共和国农业部.土壤检测 第6部分:土壤有机质的测定:NY/T 1121.6—2006[S].北京:中国标准出版社,2006.
- [29] 中华人民共和国农业部.土壤检测 第24部分:土壤全氮的测定 自动定氮仪法:NY/T 1121.24—2012[S].北京:中国标准出版社,2012.
- [30] 中华人民共和国农业部.土壤全磷测定法:NY/T 88—1988[S].北京:中国标准出版社,1988.
- [31] 中华人民共和国农业部.土壤全钾测定法:NY/T 87—1988[S].北京:中国标准出版社,1989.
- [32] 中华人民共和国农业部.土壤检测 第25部分:土壤有效磷的测定 连续流动分析仪法:NY/T 1121.25—2012[S].北京:中国标准出版社,2012.
- [33] 环境保护部.土壤 氨氮、亚硝酸盐氮、硝酸盐氮的测定 氯化钾

- 溶液提取-分光光度法:HJ 634-2012[S].北京:中国标准出版社,2012.
- [34] 谢言东,郁继华,吕剑,等.不同施肥处理对露地甘蓝生长、产量及品质的影响[J].中国瓜菜,2021,34(12):52-57.
- [35] 汪自松,秦玉秀,沈伟,等.化肥减量配施有机肥对樱桃番茄土壤生物学特性及产量、品质的影响[J].中国土壤与肥料,2024(2):58-64.
- [36] 王冰清,尹能文,郑棉海,等.化肥减量配施有机肥对蔬菜产量和品质的影响[J].中国农学通报,2012,28(1):242-247.
- [37] 杨姣姣,魏百弘,陈文绪,等.化肥减量配施不同用量堆肥对娃娃菜产量及品质的影响[J].中国瓜菜,2024,37(1):94-102.
- [38] 钟应霞.青海省冷凉露地娃娃菜有机肥替代化肥比较试验[J].青海农技推广,2023(1):43-49.
- [39] 程彦弟,吴宏亮,冯海萍.活性生物有机肥在露地娃娃菜种植中的肥效研究[J].湖北农业科学,2021,60(3):38-41.
- [40] 冯海萍,程彦弟.生物有机肥配施化肥对宁南山区露地娃娃菜生长及土壤养分的影响[J].中国瓜菜,2020,33(12):66-70.
- [41] 邢鹏飞,高圣超,马鸣超,等.有机肥替代部分无机肥对华北农田土壤理化特性、酶活性及作物产量的影响[J].中国土壤与肥料,2016(3):98-104.
- [42] 许小伟,樊剑波,陈晏,等.不同有机无机肥配施比例对红壤旱地花生产量、土壤速效养分和生物学性质的影响[J].生态学报,2014,34(18):5182-5190.
- [43] 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.