

DOI: 10.16861/j.cnki.zggc.202423.0586

化肥减量配施不同用量堆肥对娃娃菜产量及品质的影响

杨姣姣¹, 魏百弘¹, 陈文绪¹, 马济中¹, 毛莉莉¹, 铁建中¹, 胡琳莉¹, 郁继华^{1,2}

(1. 甘肃农业大学园艺学院 兰州 730070; 2. 省部共建干旱生境作物学国家重点实验室 兰州 730070)

摘要: 为筛选出适于娃娃菜生长的最佳施肥方案, 以不施肥(NF)为对照, 以当地化肥施用量(C)和当地化肥施用量减量30%(R)为两种化肥施用水平; 以0、400、600、800 kg·667 m² 4种堆肥施用水平, 两因素组合成8个处理, 研究不同施肥处理对娃娃菜生长、产量及品质的影响。结果表明, 与对照相比, 当地化肥施用量减量30%+600 kg·667 m²堆肥(R6)处理的株幅和球高分别显著增加33.11%和26.23%, 高于常规施肥处理和其他化肥减施处理; R6与其他处理相比干鲜质量均增加; R6的生物产量和经济产量分别比NF显著提高52.23%和120.21%; 且R6处理与NF相比, 显著提高娃娃菜维生素C、可溶性糖、可溶性蛋白、氨基酸含量, 显著降低硝酸盐含量。主成分分析结果表明, R6处理的排名最高。综上, 当地化肥减量30%+600 kg·667 m²堆肥处理可明显促进娃娃菜生长、提高产量、改善品质, 该施肥方案可为当地娃娃菜高产优质生产提供参考。

关键词: 娃娃菜; 化肥减量; 堆肥; 产量; 品质

中图分类号: S634

文献标志码: A

文章编号: 1673-2871(2024)01-094-09

Effects of chemical fertilizer reduction and different amounts of compost on yield and quality of mini Chinese cabbage

YANG Jiaojiao¹, WEI Baihong¹, CHEN Wenxu¹, MA Jizhong¹, MAO Lili¹, TIE Jianzhong¹, HU Linli¹, YU Jihua^{1,2}

(1. College of Horticulture, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, Gansu, China; 2. Gansu Province and the Ministry of Education Jointly Establish the State Key Laboratory of Crop Science in Arid Habitat, Lanzhou 730070, Gansu, China)

Abstract: In order to screen out the best fertilization treatment suitable for the growth of mini Chinese cabbage, no fertilization (NF) was used as the control, the local chemical fertilizer application amount (C) and the local chemical fertilizer application amount reduced by 30% (R) were the two chemical fertilizer application levels; 0, 400, 600, 800 kg·667 m² were four compost application levels. The two factors were combined into 8 treatments to explore the effects of fertilization treatment on growth, yield and quality of mini Chinese cabbage. Compared with the control, the plant width and ball height of the treatment with local chemical fertilizer reduction of 30% + 600 kg·667 m² compost (R6) increased by 33.11% and 26.23% respectively, which were higher than those of conventional fertilization and chemical fertilizers. Other treatments that reduced fertilizer use; R6 increased both dry and fresh mass compared with other treatments; the biological yield and economic yield of R6 increased by 52.23% and 120.21%, respectively; and the R6 treatment increased the vitamin C, soluble sugar, soluble protein and amino acid contents of mini Chinese cabbage and reduced nitrate content significantly. The principal component analysis results showed that the R6 treatment ranked the highest. In summary, 30% reduction of local chemical fertilizer plus 600 kg·667 m² compost treatment can significantly promote the growth of mini Chinese cabbage, increase yield, and improve quality. This fertilization method can provide scientific fertilization basis for the high-yield and high-quality production of local mini Chinese cabbage.

Key words: Mini Chinese cabbage; Fertilizer reduction; Compost; Yield; Quality

收稿日期: 2023-09-06; 修回日期: 2023-10-20

基金项目: 甘肃省教育厅“双一流”重点科研项目(GSSYLXM-02); 国家大宗蔬菜产业技术体系(CARS-23-C-07); 甘肃省拔尖领军人才培养计划(GSBJLJ-2021-14); 现代丝路寒旱农业科技支撑项目(GSLK-2021-6); 甘肃省自然科学基金重点项目(21JR7RA803)

作者简介: 杨姣姣, 女, 硕士研究生, 研究方向为蔬菜栽培生理生态。E-mail: 1109596409@qq.com

通信作者: 胡琳莉, 女, 副教授, 研究方向为蔬菜栽培生理与品质调控。E-mail: hull@gsau.edu.cn

郁继华, 男, 教授, 主要从事蔬菜栽培生理与品质调控研究。E-mail: yujihua@gsau.edu.cn

目前,蔬菜产业发展较为迅速,已成为农业农村经济的支柱产业,蔬菜产业的发展为农民经济增收拓宽了渠道^[1]。高原夏菜是指利用西北高原地区夏季凉爽、光照充足、昼夜温差大等气候特点,在高海拔地区种植、加工的蔬菜^[2]。西北地区良好的气候成就了高原夏菜产业,实现了农业资源的合理有效利用。但是尾菜废弃处理不当、资源化利用效率低等问题也制约着该产业的持续健康发展^[3]。同时随着畜禽业的发展,畜禽粪污产生量也日益增加^[4]。农业废弃物处理不当、利用不合理等问题,导致资源浪费的同时也造成了环境污染^[5]。

种植业和养殖业是农业废弃物产生的主要途径,将两种废弃物结合通过联合堆肥技术进行资源化利用是废弃物处理的发展趋势之一,而堆肥是有效利用农业废弃物的主要途径之一^[6]。农业废弃物经过堆肥处理后,不仅消除了其中的有毒有害物质,而且富含大量有益物质,可制成堆肥还田,不仅能为农作物提供营养,还可以增加作物的产量、改善土壤板结等问题^[7]。高峻岭等^[8]通过研究不同配方种养废弃物有机肥对蔬菜生长的影响,发现不同配方的堆肥均能显著增加青花菜产量、维生素C和可溶性糖以及粗蛋白含量。孙晓等^[9]研究表明,增施种养废弃物堆肥可以提高番茄的产量、果径、单果质量、可溶性固形物含量,降低硝酸盐含量。谢言东等^[10]研究表明,化肥减量50%配施有机肥处理的甘蓝干鲜质量均增加,产量显著提高30.86%。闫龙翔等^[11]在对黄瓜的研究中发现生物有机肥与化肥减量20%配施,与常规化肥处理相比,增产效果达到10.14%,此外还发现堆肥能提高黄瓜维生素C含量,降低硝酸盐含量,进而提升黄瓜品质。增施

堆肥能使芹菜产量稳定,显著提高经济效益^[12]。另有研究表明,堆施有机肥可以提高生菜、黄瓜等的产量和品质^[13-15]。农业废弃物堆肥化利用,既能解决资源浪费和环境污染问题,又能改良田地,提高农作物产量和品质,实现资源循环利用^[16]。

娃娃菜作为“高原夏菜”产业的主要蔬菜种类之一,产量、品质、外观色泽显现等都与肥料施用有密切的关联^[17]。笔者课题组前期试验筛选出适于娃娃菜种植的种养废弃物堆肥(羊粪、尾菜、菇渣、秸秆质量比为6:2:1:1)^[18],但其与化肥配施的适宜用量尚不明确。因此,笔者在前期筛选的适宜种养废弃物配方堆肥基础上,结合平衡施肥原则,以不施肥(NF)为对照,采用两个化肥施用水平:当地化肥施用量(C)和当地化肥施用量减量30%(R),4个堆肥施用水平(0、400、600、800 kg·667 m²),两因素组合成8个处理,采用田间随机区组设计试验,探索不同用量化肥与种养废弃物堆肥对露地娃娃菜生长、生理特性、产量和品质的影响,以期明确娃娃菜生长适宜的堆肥及化肥用量,为高原地区娃娃菜高产优质生产提供优化的施肥方案。

1 材料与方法

1.1 试验地点概况

试验于2022年5—7月在兰州市榆中县康源现代农业有限公司高原夏菜种植基地进行。该地区属于温带半干旱大陆性气候;平均海拔1790 m,年平均气温6.6℃,年降水量300~400 mm,蒸发量1343 mm,无霜期150 d左右。试验田地势平缓,土壤类型为黄绵土,肥力水平基本均匀,土壤基本理化性质如表1所示。

表1 供试土壤基本理化性质

Table 1 Basic physicochemical properties of test soil

指标 Index	w(全氮) Total N content/ (g·kg ⁻¹)	w(全磷) Total P content/ (g·kg ⁻¹)	w(全钾) Total K content/ (mg·kg ⁻¹)	w(碱解氮) Alkaline N content/ (mg·kg ⁻¹)	w(速效磷) Rapid available P content/ (mg·kg ⁻¹)	w(速效钾) Rapid available K content/ (mg·kg ⁻¹)	w(有机质) Organic matter content/ (g·kg ⁻¹)	pH	EC/ (mS·cm ⁻¹)
数值 Value	0.53	0.91	8.60	76.42	117.40	237.70	14.03	8.12	0.242

1.2 材料

供试娃娃菜品种为华耐B1102,购自北京华耐农艺发展有限公司。

供试化肥为尿素(含N 46%,w,后同)、过磷酸钙(含P₂O₅ 16%)、硫酸钾(含K₂O 52%)。

供试种养废弃物堆肥为甘肃农业大学园艺学院设施园艺课题组筛选出的堆肥(羊粪、尾菜、菇

渣、秸秆质量比为6:2:1:1)。堆肥生物发酵菌剂(有效活菌数≥500.0×10⁸ g·mL⁻¹)、纤维素酶活性≥60.0 U·g⁻¹、蛋白酶活性≥70.0 U·g⁻¹、水分质量分数≤20.0%)购自鹤壁市人元生物技术有限公司。按15~18 t原料添加1 kg发酵菌剂为标准添加菌剂,堆体含水量调节至60%~65%,堆置成高1 m、底宽2 m、顶宽1 m、长度不限的台形堆(即切面为梯形),

监测堆体顶端 25 cm 深处温度,温度超过 55 °C 时,进行第一次翻堆,以后每隔 7 d 混翻一次,当堆体温度接近环境温度、颜色变褐、有轻微草香味时发酵完成,共需 38~40 d。

1.3 试验设计

采用随机区组设计,共设置 9 个处理。如表 2 所示。娃娃菜种植面积为 400 m²(10 m×40 m),每个小区面积为 11 m²(1.1 m×10 m),3 次重复,采用一

垄双行垄面覆膜的栽培模式,垄宽 1 m、垄长 11 m,沟宽 40 cm,并设有保护行,行距 30~35 cm,株距 20~25 cm,每 667 m² 共定植娃娃菜 3710 株。于 2022 年 5 月 8 日在 72 孔穴盘中育苗,5 月 31 日选择长势一致、无病虫害、生长健壮的幼苗进行定植。定植后及时浇水。2022 年 7 月 29 日收获结束,田间全生育期 58 d。整个生育期灌水及病虫害防治等田间管理措施与当地传统管理措施保持一致。

表 2 试验设计

Table 2 Experimental design

处理 Treatment	施肥量 Fertilizer amount
NF	不施肥 No fertilizer
C0	当地化肥施用量+不施堆肥 Local chemical fertilizer amount +No compost
C4	当地化肥施用量+400 kg·667 m ² 堆肥 Local chemical fertilizer amount +400 kg·667 m ² compost
C6	当地化肥施用量+600 kg·667 m ² 堆肥 Local chemical fertilizer amount +600 kg·667 m ² compost
C8	当地化肥施用量+800 kg·667 m ² 堆肥 Local chemical fertilizer amount +800 kg·667 m ² compost
R0	当地化肥施用量减量 30%+不施堆肥 Local chemical fertilizer amount reduction of 30% +No compost
R4	当地化肥施用量减量 30%+400 kg·667 m ² 堆肥 Local chemical fertilizer amount reduction of 30% +400 kg·667 m ² compost
R6	当地化肥施用量减量 30%+600 kg·667 m ² 堆肥 Local chemical fertilizer amount reduction of 30% +600 kg·667 m ² compost
R8	当地化肥施用量减量 30%+800 kg·667 m ² 堆肥 Local chemical fertilizer amount reduction of 30% +800 kg·667 m ² compost

根据土壤养分平衡法确定试验中各平衡施肥处理肥料施用量及比例,基于娃娃菜对氮磷钾的需求量和土壤供肥能力确定所需氮磷钾的用量,娃娃菜理论需 N、P₂O₅、K₂O 质量比 1:0.45:1.57,当地化肥施用量为 N 3.54 kg·667 m²、P₂O₅ 3.54 kg·667 m²、K₂O 3.54 kg·667 m²,在总量减 30% 的基础上,按娃娃菜需肥比例计算出化肥减 30% 的施肥量为 N 2.46 kg·667 m²、P₂O₅ 1.11 kg·667 m²、K₂O 3.86 kg·667 m²,其中 N 减施 0.8%,P₂O₅ 减施 55.24%,K₂O 增施 55.65%。定植前结合整地,将 2 种化肥处理(减量 30%、不减量)总量的 30% 分别与等量种养废弃物堆肥混合,作为基肥,于娃娃菜定植前一次性施入土壤,并深耕混匀;2 种处理下化肥总量剩余的 70% 用于追肥,分别于莲座期(20%)、结球初期(30%)和结球中期(20%)分 3 次追施。各处理施肥量见表 3。

1.4 测定指标及方法

1.4.1 生长指标的测定 在娃娃菜的采收期,每个处理随机选取 10 株,用卷尺测量球基部到球顶端的距离,记为球高;用精确度为 0.1 cm 的直尺先测量已标记植株最大株幅(A),然后十字交叉测量较小株幅(B),利用椭圆面积公式计算株幅投影面积:株幅投影面积/cm²=π×A×B/4;用电子秤称量植株各个部分的质量以及整株的质量后,于烘箱中 105 °C

表 3 各处理施肥量

Table 3 Fertilization amount of each treatment

处理 Treatment	施肥量 (kg·667 m ²)				
	氮肥用量 N fertilizer amount	磷肥用量 P ₂ O ₅ fertilizer amount	钾肥用量 K ₂ O fertilizer amount	化肥总量 Chemical fertilizer amount	堆肥用量 Compost amount
NF	0	0	0	0	0
C0	3.54	3.54	3.54	10.62	0
C4	3.54	3.54	3.54	10.62	400
C6	3.54	3.54	3.54	10.62	600
C8	3.54	3.54	3.54	10.62	800
R0	2.46	1.11	3.86	7.43	0
R4	2.46	1.11	3.86	7.43	400
R6	2.46	1.11	3.86	7.43	600
R8	2.46	1.11	3.86	7.43	800

下杀青 30 min,80 °C 下烘干至恒质量即得干质量。

1.4.2 产量的测定 待娃娃菜达到采收标准后,每小区随机选取 15 株,完整挖出后采用田间称量法(精确度为 0.01 kg)称质量,折算为生物产量,去除地下部和外层非商品叶后称质量,折算为经济产量,最后计算经济系数。经济系数=经济产量/生物产量。

1.4.3 营养品质测定 在娃娃菜采收期,每小区随机选取大小均匀一致的 10 株娃娃菜,每株娃娃菜的 1/4 粉碎混匀进行品质测定,采用 2,6-二氯酚靛酚染色法测定维生素 C 含量^[19];参考李合生^[20]的方

法测定可溶性蛋白、可溶性糖、硝酸盐和氨基酸含量。

1.4.4 矿质元素的测定 取成熟娃娃菜叶球,烘干后粉碎,过 0.25 mm 筛,装入自封袋中备用。参考鲍士旦^[21]的方法,使用德国耶拿公司生产的 ZEE-nit-700P 型原子吸收分光光度计测定 Ca、Cu、Fe、Mn、Zn、Mg 元素含量。

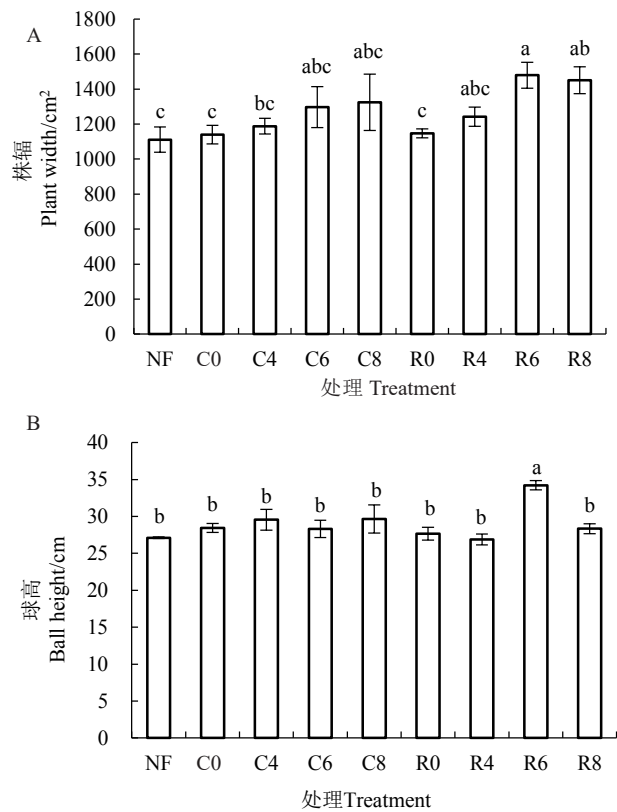
1.5 数据处理与作图

采用 Microsoft Excel 2019 和 Origin 2022 进行数据处理和作图,用 SPSS 20.0 进行差异显著性分析和主成分分析。

2 结果与分析

2.1 不同用量化肥与堆肥对娃娃菜株幅和球高的影响

由图 1-A 可知,C0、C4、C6、C8 的株幅与 NF 相比分别提高 2.59%、6.87%、16.72%和 19.23%,而 R0、R4、R6、R8 与 NF 相比分别提高 3.20%、11.77%、33.11%和 30.57%,可见在相同堆肥量下,化肥减量 30%相比于常规施肥,增加娃娃菜株幅的效果更为明显。而在化肥减施 30%的 4 种处理中,又以 R6 处理增加株幅的效果最好,与 R0、R4、R8 相比娃娃菜株幅分别增加 28.98%、19.08%、1.94%。由图 1-B 可知,C0、C4、C6、C8 的球高与 NF 相比分别提高 4.93%、9.02%、4.51%和 9.43%,R0、R4、R6、R8 的球高与 NF 相比分别提高 2.04%、2.86%、26.23%和 4.52%。在化肥减量的 4 个处理中,R6 增加球高的效果最明显,显著优于其他处理,与 R0、R4、R8 相比分别增加 23.71%、27.28%、20.75%。



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 among different treatment at 0.05 level. The same below.

图 1 不同用量化肥与堆肥处理对娃娃菜株幅和球高的影响
Fig. 1 Effects of different quantitative fertilizer and compost treatment on plant width and ball height of mini Chinese cabbage

2.2 不同用量化肥与堆肥处理对娃娃菜干鲜质量的影响

由表 3 可知,在 4 种相同的堆肥量处理下,化肥减施 30%处理的娃娃菜地上部鲜质量、地下部鲜

表 4 不同用量化肥与堆肥处理对娃娃菜干鲜质量的影响

处理 Treatment	地上部鲜质量 Fresh shoot mass/g	地下部鲜质量 Fresh root mass/g	地上部干质量 Dry shoot mass/g	地下部干质量 Dry root mass/g	含水量 Moisture/%
NF	218.91±17.21 d	2.47±0.29 d	12.90±0.62 d	0.42±0.01 d	94.11
C0	229.94±0.43 d	2.98±0.29 cd	15.80±0.51 cd	0.46±0.02 d	93.13
C4	245.09±14.13 c	3.72±0.42 c	17.37±0.97 c	0.61±0.03 cd	92.91
C6	260.44±41.13 b	3.79±0.38 c	19.96±0.88 b	0.69±0.03 c	92.34
C8	278.62±7.07 ab	4.25±0.38 ab	21.17±0.60 b	0.84±0.01 ab	92.40
R0	238.09±3.39 c	3.31±0.38 cd	18.07±0.59 c	0.67±0.02 c	92.41
R4	273.45±3.83 b	3.93±0.39 c	20.75±0.56 b	0.77±0.03 b	92.41
R6	305.97±8.53 a	5.11±0.21 a	24.59±0.92 a	1.12±0.08 a	91.96
R8	298.98±5.13 a	4.40±0.44 ab	22.77±1.39 ab	0.98±0.02 a	92.38

注:同列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 in the same column indicate significant difference among different treatment at 0.05 level. The same below.

质量、地上部干质量、地下部干质量均高于常规施肥。该4个指标均以化肥减施处理R6为最高,与NF相比分别显著提高39.77%、106.88%、90.62%、166.67%;而常规施肥处理中4个指标均以C8为最高,与NF相比分别显著提高27.28%、72.06%、64.11%、100.00%,可见C8处理的干鲜质量增幅均低于R6。娃娃菜的含水量则呈现相反的情况,化肥减施4个处理的含水量均低于对应堆肥量的常规施肥处理。以上结果说明化肥减施相比于常规施肥可以有效增加娃娃菜干物质含量,而在化肥减施4个处理中以R6处理最高,600 kg·667 m²堆肥+化肥减施30%处理增加娃娃菜干物质含量的效果最好。

2.3 不同用量化肥与堆肥处理对娃娃菜产量的影响

由表5可知,常规施肥下,随着堆肥量的增加,娃娃菜生物产量和经济产量均下降,说明常规化肥施用已经过量。而化肥减量30%处理下,随着堆肥量的增加,娃娃菜产量呈先增加后降低的变化趋势,在600 kg·667 m²的堆肥施用量时产量最高。R6的生物产量和经济产量分别较NF显著提高52.23%、120.21%,分别比R0显著提高48.19%、37.66%;较R4分别提高13.56%、18.64%,较R8分别提高27.42%、43.64%。说明化肥减量30%+600 kg·667 m²堆肥处理提高娃娃菜产量的效果最好。不同处理之间经济系数差异不显著。

表5 不同用量化肥与堆肥处理对娃娃菜产量的影响
Table 5 Effects of different quantitative fertilizer and compost treatment on the yield of mini Chinese cabbage

处理 Treatment	生物产量 Biological yield/ (kg·667 m ²)	经济产量 Economic yield/ (kg·667 m ²)	经济系数 Economic coefficient
NF	4 064.52±423.12 bc	1 853.66±43.62 d	0.46±0.02 d
C0	5 387.23±113.51 ab	3 283.82±35.24 b	0.59±0.04 ab
C4	4 122.14±73.26 bc	2 994.84±26.52 b	0.65±0.04 a
C6	3 839.10±151.47 bc	2 699.32±14.18 c	0.59±0.06 ab
C8	3 536.83±180.85 c	2 459.35±15.25 cd	0.68±0.02 a
R0	4 175.21±98.08 bc	2 965.22±34.28 bc	0.68±0.08 a
R4	5 448.27±171.67 ab	3 440.55±39.62 b	0.65±0.15 a
R6	6 187.36±156.27 a	4 081.87±29.51 a	0.72±0.20 a
R8	4 855.78±182.27 abc	2 841.66±144.53 bc	0.62±0.07 a

2.4 不同用量化肥与堆肥处理对娃娃菜品质的影响

由图2-A可知,常规施肥4个处理的维生素C含量相较于NF分别显著提高19.25%、25.08%、30.03%、32.05%,化肥减施4个处理相较于NF分别

显著提高26.92%、26.18%、33.41%、26.89%,其中R6(化肥减量30%+600 kg·667 m²堆肥)处理相较于其他处理在提高娃娃菜维生素C含量方面的效果最好。

由图2-B可知,可溶性糖含量的变化趋势与维生素C含量相似:常规施肥4个处理的可溶性糖含量相较于NF分别显著提高8.46%、45.13%、69.06%、83.53%,化肥减施4个处理相较于NF分别显著提高35.40%、60.34%、83.53%、42.94%。其中R6(化肥减量30%+600 kg·667 m²堆肥)处理相较于其他处理在提高娃娃菜可溶性糖含量方面的效果最好。

由图2-C~D可知,与不施肥相比,常规施肥与化肥减量30%两种情况下,娃娃菜的可溶性蛋白、氨基酸含量均有所提高,但化肥减施处理效果优于常规施肥,C0、C4、C6、C8处理的可溶性蛋白含量与NF相比分别提高53.76%、51.50%、119.00%和166.67%,R0、R4、R6、R8处理与NF相比分别显著提高176.19%、130.95%、230.95%和169.05%,在堆肥量一致时均以化肥减施的效果更好;而在化肥减施4个处理中,R6效果优于其他3个处理。C0、C4、C6、C8处理的氨基酸含量与NF相比分别提高1.72%、14.54%、21.66%和30.83%,R0、R4、R6、R8处理与NF相比分别显著提高25.02%、42.61%、53.47%和51.06%,两种施肥情况下在有机肥堆肥量一致时均以化肥减施增加娃娃菜氨基酸含量的效果更好,并且化肥减施中R6(化肥减30%+600 kg·667 m²堆肥)处理相较于R0、R4、R8分别增加22.75%、7.61%、1.59%,较NF增幅最大。

由图2-E所示,C0、C4、C6、C8处理的硝酸盐含量与NF相比分别显著下降7.24%、9.15%、12.85%和20.77%,R0、R4、R6、R8处理与NF相比分别显著下降10.52%、21.01%、31.14%和22.23%,化肥减施处理效果优于常规施肥,同时在化肥减施处理中以R6处理降低硝酸盐含量的效果最明显,显著低于R0、R4和R8处理。

2.5 不同用量化肥与堆肥处理对娃娃菜矿质元素含量的影响

由表6所示,相比于NF,常规施肥与化肥减量30%两种情况下,娃娃菜的矿质元素含量均有所提高,但化肥减量30%处理的矿质元素含量显著高于常规施肥。其中,化肥减施30%中R8处理的Ca、Mg、Cu、Mn 4种元素含量与NF相比分别显著提高35.02%、17.28%、69.96%、153.87%。而在常规施肥

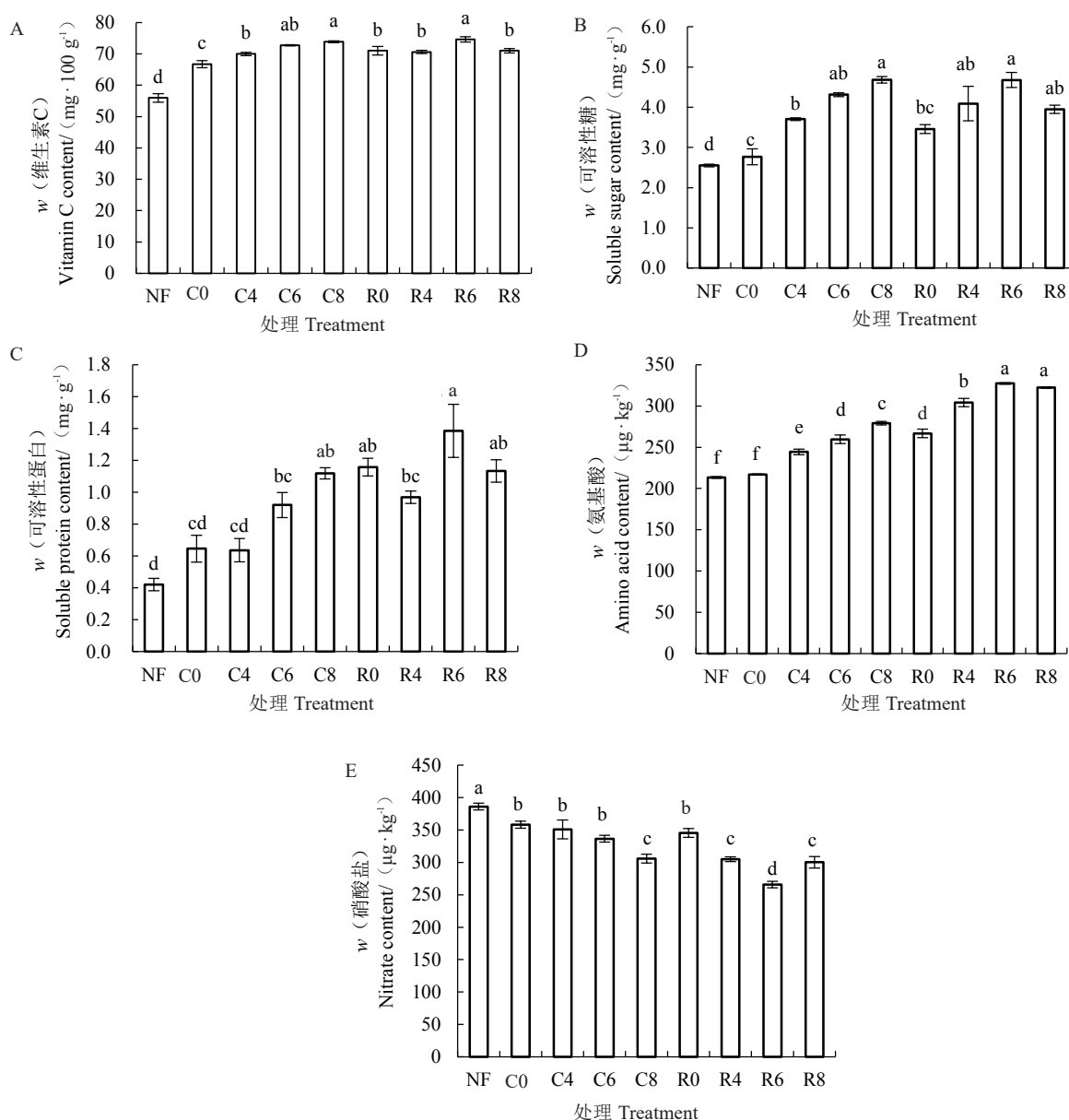


图2 不同用量化肥与堆肥处理对娃娃菜品质的影响

Fig. 2 Effects of different quantitative fertilizer and compost treatment on the quality of mini Chinese cabbage

表6 不同用量化肥与堆肥处理对娃娃菜矿质元素含量的影响

Table 6 Effects of different quantitative fertilizer and compost treatment on mineral elements content of mini Chinese cabbage

处理 Treatment	w(Ca)	w(Mg)	w(Cu)	w(Fe)	w(Mn)	w(Zn)
NF	2 224.61±0.81 g	2 470.98±6.65 g	2.83±0.01 f	104.17±0.60 f	5.68±0.03 g	30.63±0.01 g
C0	2 299.73±6.75 f	2 494.01±2.33 g	3.28±0.02 e	127.03±0.74 e	6.21±0.04 f	32.80±0.51 f
C4	2 338.18±6.27 f	2 517.76±0.98 f	3.52±0.01 d	135.77±1.11 d	6.60±0.03 e	35.78±0.50 f
C6	2 371.56±1.02 e	2 565.47±6.74 e	3.80±0.04 c	136.66±2.01 d	6.95±0.14 e	39.58±0.30 e
C8	2 417.64±7.07 d	2 583.79±5.28 e	3.87±0.02 c	141.21±2.02 d	7.67±0.12 d	42.31±0.55 d
R0	2 465.88±9.08 c	2 622.61±1.90 d	4.63±0.03 b	165.92±0.44 c	9.77±0.11 c	45.59±1.17 bc
R4	2 637.96±18.45 b	2 652.98±5.92 c	4.59±0.03 b	165.10±1.19 c	9.70±0.18 c	46.69±0.43 ab
R6	2 966.55±2.42 a	2 811.52±1.03 b	4.78±0.04 a	212.97±0.16 a	12.41±0.27 b	48.11±0.11 a
R8	3 003.56±7.65 a	2 897.93±5.72 a	4.81±0.03 a	187.20±1.56 b	14.42±0.07 a	44.71±0.10 c

(mg·kg⁻¹)

4个处理中以C8提高这4种元素含量效果最好,较NF分别显著提高8.68%、4.56%、36.75%、35.04%,而R8处理的Ca、Mg、Cu、Mn的含量又比C8分别显著提高24.24%、12.16%、24.29%、88.01%。以上结果说明化肥减施30%处理对Ca、Mg、Cu、Mn含量的提高效果优于常规施肥,其中又以R8处理(化肥减量30%+800 kg·667 m²堆肥)效果最明显。R6处理的Fe和Zn含量最高,与NF相比分别显著提高104.44%和57.07%。而在常规施肥中,对Fe、Zn含量提高最明显的是C8处理,较NF显著提高了35.56%、38.13%,显著低于R6处理对植株Fe、Zn两种元素含量的增幅。

2.6 主成分分析

对17个指标进行主成分分析,结果如表7所示,提取特征值>1的3个主成分分别为11.826、2.059、1.285,方差贡献率分别为69.563%、12.110%、7.560%,累计方差贡献率为89.233%。PC1综合了地下部鲜质量、地上部鲜质量,以及可溶性糖、可溶性蛋白、维生素C、氨基酸、Fe、Mn、Zn、Cu、Ca、Mg含量等指标信息,PC2综合了生物产量、株幅、硝酸盐含量等指标信息,PC3综合了球高等指标信息。

表7 主成分分析及方差解释

Table 7 Principal component analysis and variance interpretation

指标 Index	特征向量 Eigenvector		
	PC1	PC2	PC3
球高 Ball height	0.584	0.147	0.602
株幅 Plant width	0.209	0.806	-0.091
地上部鲜质量 Fresh shoot mass	0.919	-0.328	0.017
地下部鲜质量 Fresh root mass	0.897	0.132	-0.090
可溶性糖含量 Soluble sugar content	0.773	-0.472	0.127
可溶性蛋白含量 Soluble protein content	0.931	-0.212	-0.037
维生素C含量 Vitamin C content	0.770	-0.553	0.252
氨基酸含量 Amino acid content	0.968	-0.022	-0.176
硝酸盐含量 Nitrate content	-0.962	0.067	-0.108
Fe含量 Fe content	0.968	0.143	0.009
Mn含量 Mn content	0.887	0.220	-0.342
Zn含量 Zn content	0.920	-0.200	-0.141
Cu含量 Cu content	0.924	-0.081	-0.212
Ca含量 Ca content	0.924	0.286	-0.182
Mg含量 Mg content	0.905	0.214	-0.305
生物产量 Biological yield	0.543	0.641	0.377
经济产量 Economic yield	0.694	0.175	0.576
特征值 Eigenvalues	11.826	2.059	1.285
方差贡献率 Percentage of variance/%	69.563	12.110	7.560
累积方差贡献率 Cumulative/%	69.563	81.672	89.233

综合得分(F)是每个主成分得分与相对应方差

贡献率的乘积之和,即: $F=F_1 \times 69.563\% + F_2 \times 12.110\% + F_3 \times 7.560\%$ 。不同处理的综合得分和排名如表8所示,R6处理得分最高,其次为R8处理,不施肥的NF处理得分最低,化肥减量30%的处理得分高于常规施肥处理。

表8 不同用量化肥与堆肥处理的排名

Table 8 Ranking of different quantified fertilizer and compost treatment

处理 Treatment	主成分得分 Principal component score			综合得分(F) Composite score	排名 Rank
	PC1(F ₁)	PC2(F ₂)	PC3(F ₃)		
NF	-1.623 17	1.389 15	-0.831 93	-102.379 359	9
C0	-0.862 01	0.595 05	1.197 56	-43.704 393	7
C4	-0.682 01	-0.581 28	0.887 92	-47.769 287	8
C6	-0.214 03	-0.777 26	0.026 13	-24.103 645	6
C8	0.124 52	-1.674 00	-0.007 68	-11.668 216	5
R0	0.063 42	-0.610 23	-0.654 81	-7.928 563	4
R4	0.500 33	-0.025 85	-0.211 25	32.894 362	3
R6	1.674 71	1.142 40	1.301 83	140.174 150	1
R8	1.018 23	0.542 00	-1.707 76	64.484 087	2

3 讨论与结论

Kamau等^[22]指出,过量施用化肥会使耕地污染,影响到农产品安全和人类身体健康,同时也会出现一系列土壤退化问题,如土壤酸化、硝酸盐污染和土壤次生盐渍化,氮磷钾养分不均衡等^[23]。平衡施肥是促进植物生长,提高产品质量,减少化肥投入,减少对环境负面影响的有效措施^[24]。球高、株幅、干鲜质量作为最基本的生长指标,在一定程度上可以反映蔬菜作物的生长状况,对产量的形成具有一定的影响^[25]。付丽军等^[26]研究表明,平衡施肥对作物的生长发育有显著促进作用。本试验结果表明,化肥减量配施生物堆肥处理下的娃娃菜株幅、干鲜质量均高于不施肥(NF)和单施化肥(C0)处理,在相同的堆肥水平下,化肥减量30%的效果更好;在同样减量30%化肥的水平下,以当地化肥施用量减量30%+600 kg·667 m²堆肥处理效果最好,说明合理的化肥减量配施堆肥对植株生长有积极作用。谢言东等^[10]研究表明,适量的化肥与堆肥配施处理,可以促进甘蓝生长。张富鑫等^[27]对结球甘蓝的研究证明化肥减量配施生物堆肥可以提高甘蓝的干物质积累量以及产量,这与笔者的研究结果一致。本研究结果表明,化肥减量30%配施堆肥600 kg·667 m²增产效果最为显著,表明适量的化肥与堆肥配施,可以促进娃娃菜生长,并获得高产。

品质是衡量蔬菜作物营养价值和经济价值的

重要标准之一,作物营养品质则主要体现在可溶性糖、可溶性蛋白、维生素 C 含量等方面。科学施肥不仅能够保证蔬菜产品的质量,还能提高蔬菜的营养价值^[28]。谢育利等^[29]研究表明,生物堆肥和化肥配施较单施化肥能显著提高作物中维生素 C 含量,并降低硝酸盐含量。茹朝等^[30]研究发现,化肥减量条件下平衡配施生物堆肥可以提高大白菜的维生素 C 含量,这可能是由于随着生物堆肥的施入,作物叶片叶绿素含量有所增加,进一步促进其光合作用,提高了光合产物的积累量,从而增加果实可溶性蛋白、可溶性糖和维生素 C 含量。本研究结果与其类似,化肥减量 30% 施肥并配施生物堆肥处理均可以提高娃娃菜可溶性糖、可溶性蛋白、氨基酸和维生素 C 含量,降低硝酸盐含量,使娃娃菜品质得到了明显改善。

矿质元素是植物必需的营养元素,缺乏这些元素会影响植物的健康生长^[13],微量元素钙、镁、铁、锌、铜、锰在植物生长发育过程中必不可少,可直接或间接地参与植物体内化合物的合成和许多代谢过程^[31]。魏晓兰等^[32]研究表明,配施生物堆肥能促进小白菜对矿质元素的吸收,提高肥料利用率。Moyin-Jesu 等^[33]在对甘蓝的研究中发现,增施堆肥可提高甘蓝产量和土壤有机质、氮、磷、钾等养分含量。笔者研究发现,施用堆肥各处理较不施肥处理和单施化肥处理 Ca、Mg、Cu、Fe、Mn、Zn 含量有显著提升,这与 Rutkowska 等^[34]的研究结果一致。

综上所述,化肥减量 30% 施肥并配施生物堆肥处理均可以提高娃娃菜的产量和品质,其中 R6 处理(当地化肥减量 30%+堆肥 600 kg·667 m⁻²)效果最好,可以显著促进娃娃菜的生长、提高娃娃菜产量、改善娃娃菜品质,是符合兰州地区娃娃菜的肥料施用模式,可作为娃娃菜高产优质生产的优化施肥方案。

参考文献

- [1] 李斯更,王娟娟.我国蔬菜产业发展现状及对策措施[J].中国蔬菜,2018(6):1-4.
- [2] 杨佑福.甘肃高原夏菜生产特点[J].农业科技与信息,2015(12):14-15.
- [3] 徐长春,郑戈,聂善明.高原夏菜产业发展现状、存在问题及对策建议:基于甘肃省榆中县的调研[J].中国农业资源与区划,2016,37(2):52-56.
- [4] NAGENDRAN R. Agricultural waste and pollution[M]. TREVOR M L, DANIEL A V. Waste. New York: Academic Press,2011,341-355.
- [5] WANG X, ZHANG J. Basic path and system construction of agricultural green and low-carbon development with respect to the strategic target of carbon peak and carbon neutrality[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture,2022,30(4):516-526.
- [6] 王天瑛,梁浩,闫飞,等.种养业废弃物联合堆肥实现资源化利用[J].农业工程,2021,11(1):55-57.
- [7] 沈玉君,李冉,孟海波,等.国内外堆肥标准分析及其对中国的借鉴启示[J].农业工程学报,2019,35(12):265-271.
- [8] 高峻岭,宋朝玉,李祥云,等.不同有机肥配比对蔬菜产量和品质及土壤肥力的影响[J].中国土壤与肥料,2008(1):48-51.
- [9] 孙晓,姜学玲,崔玉明,等.有机肥替代对设施番茄产量、品质与土壤性质的影响[J].中国瓜菜,2021,34(4):46-52.
- [10] 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.
- [11] 闫龙翔,阚雨晨,陈露,等.化肥减施条件生物有机肥对黄瓜生长、产量品质及抗病性的影响[J].上海农业学报,2020,36(2):41-47.
- [12] 李明悦,朱静华,廉晓娟,等.有机无机氮肥配施对芹菜产量、品质及土壤硝酸盐含量的影响[J].中国农学通报,2013,29(13):178-181.
- [13] CARDARELLI M, EI CHAMI A, LOVIENO P, et al. Organic fertilizer sources distinctively modulate productivity, quality, mineral composition, and soil enzyme activity of greenhouse lettuce grown in degraded soil[J]. Agronomy-Basel, 2023, 13(1): 194.
- [14] MAHMOUD E, EL-KADER N A, ROBIN P, et al. Effects of different organic and inorganic fertilizers on cucumber yield and some soil properties[J]. World Journal of Agricultural Sciences, 2009, 5(4):408-414.
- [15] OLANIYI J O, OGUNBIYI E M, ALAGBE D D. Effects of organo-mineral fertilizers on growth, yield and mineral nutrients uptake in cucumber[J]. Journal of Animal and Plant Sciences, 2009, 5(1):437-442.
- [16] 吴建富,施翔,肖青亮,等.我国肥料利用现状及发展对策[J].江西农业大学学报,2003,25(5):725-727.
- [17] QIAO Y L, TIE J Z, WANG X H, et al. Comprehensive evaluation on effect of planting and breeding waste composts on the yield, nutrient utilization, and soil environment of mini Chinese cabbage[J]. Journal of Environmental Management, 2023, 341: 117941.
- [18] 乔亚丽.种养废弃物肥料化利用对娃娃菜产量、品质及土壤环境的影响[D].兰州:甘肃农业大学,2022.
- [19] 陈刚,李胜.植物生理学实验[M].北京:高等教育出版社,2016.
- [20] 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.
- [21] 鲍士旦.土壤农化分析[J].3版.北京:中国农业出版社,2000.
- [22] KAMAU M, SMALE M, MUTUA M. Farmer demand for soil fertility management practices in Kenya's grain basket[J]. Food Security, 2014, 6:793-806.
- [23] 胡清宏.不同化肥减施措施对连作设施小白菜生长及土壤质量的影响[D].南京:南京农业大学,2019.
- [24] CHEN X, CHEN X D, JIAO J B, et al. Towards balanced fertilizer management in south China: Enhancing wax gourd (*Benincasa hispida*) yield and produce quality[J]. Sustainability, 2022,

- 14(9),5646.
- [25] 朱宝国,匡恩俊,滕占林,等.不同生物有机肥配施化肥对大豆植株生长、抗病及产量的影响[J].新疆农业科学,2023,60(5):1127-1133.
- [26] 付丽军,张爱敏,王向东,等.生物有机肥改良设施蔬菜土壤的研究进展[J].中国土壤与肥料,2017(3):1-5.
- [27] 张富鑫,颀建明,刘阳,等.不同施肥模式对结球甘蓝产量、养分吸收利用及土壤酶活性的影响[J].中国土壤与肥料,2022(6):73-81.
- [28] 刘雪梅,韩康宁,杨海兴,等.不同施肥模式对大棚松花菜生长生理、产量和品质的影响[J].甘肃农业大学学报,2021,56(4):43-50.
- [29] 谢育利,王吉平,苏天明,等.有机肥部分替代化肥对生菜生长及土壤环境的影响[J].西南大学学报(自然科学版),2022,44(5):41-49.
- [30] 茹朝,郁继华,武玥,等.化肥减量配施生物有机肥对露地大白菜产量及品质的影响[J].浙江农业学报,2022,34(8):1626-1637.
- [31] BULAWA B, SOGONI A, JIMOH M O, et al. Potassium application enhanced plant growth, mineral composition, proximate and phytochemical content in *Trachyantra divaricata* Kunth (Sandkool)[J]. Plants-Basel, 2022, 11(22):3183.
- [32] 魏晓兰,吴彩姣,孙玮,等.减量施肥条件下生物有机肥对土壤养分供应及小白菜吸收的影响[J].水土保持通报,2017,37(1):40-44.
- [33] IBUKUNOLUWA MOYIN- JESU E. Use of different organic fertilizers on soil fertility improvement, growth and head yield parameters of cabbage(*Brassica oleraceae* L.)[J]. International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture, 2015, 4(4):291-298.
- [34] RUTKOWSKA B, SZUIC W, SOSULSKI, et al. Soil micronutrient availability to crops as affected by long-term inorganic and organic fertilizer applications[J]. Plant Soil and Environment, 2014, 60(5):198-203.