

两种有机物料等 N 和减 N 还田条件下 对有机菜心产量、品质和土壤理化性状的影响

徐金玉^{1,2}, 付利波¹, 王伟¹, 杨艳鲜¹, 陈华¹,
陈检锋¹, 王志远¹, 王应学¹, 尹梅¹

(1. 云南省农业科学院农业环境资源研究所 昆明 650205; 2. 昆明学院农学与生命科学学院 昆明 650214)

摘要: 研究两种有机物料等 N 和减 N 还田对有机菜心产量、品质和土壤理化性状的影响, 为生产有机蔬菜挖掘新肥源提供思路。采用大棚设施试验, 设 T1: 100%N 有机肥(CK) (全量有机肥: 16 780 kg·hm⁻²)、T2: 80%N 有机肥(有机肥 13 424 kg·hm⁻²)、T3: 50%N 光叶苕子+50%N 有机肥(光叶苕子 6229 kg·hm⁻²+有机肥 8390 kg·hm⁻²)、T4: 80%N 光叶苕子(光叶苕子 9 966.4 kg·hm⁻²)、T5: 100%N 光叶苕子(光叶苕子 12 458 kg·hm⁻²), 共 5 个处理。两种有机物料等 N 还田后, 在菜心收获期测定其农艺性状、生物量和氮、磷、钾、水分、粗纤维、粗蛋白、可溶性糖、硝酸盐、叶绿素、维生素 C 含量, 以及土壤 pH 和有机质、全氮、水解性氮、有效磷、速效钾含量。结果表明, 与 CK 相比, 光叶苕子替代有机肥可不同程度地降低土壤理化性质, pH 值降低 0.10~0.40, 水解性氮含量降低 0.67%~5.07%, 有效磷含量降低 22.56%~29.63%, 速效钾含量降低 0.22%~6.00%, 提高了菜心的生物量 0.04%~5.60%, 并且植株中的粗蛋白含量提高 5.70%~14.91%, 可溶性糖含量提高 7.56%~23.53%, 叶绿素含量提高 3.06%~33.34%, 说明光叶苕子替代有机肥可以提高菜心的生物量与品质。在该有机菜园, T3: 50%N 光叶苕子+50%N 有机肥、T4: 80%N 光叶苕子和 T5: 100%N 光叶苕子这 3 个处理的菜心生物量较大, 品质较好, 是比较好的处理。在外源绿肥光叶苕子充足的前提下可采用 80%N 光叶苕子处理, 这个处理不仅生物量大, 还可以减氮; 若外源绿肥光叶苕子不充足, 可采用 50%N 光叶苕子+50%N 有机肥处理。

关键词: 菜心; 等 N; 减 N; 有机肥; 光叶苕子; 蔬菜品质; 土壤

中图分类号: S634.5

文献标志码: A

文章编号: 1673-2871(2025)10-132-08

Effects of two organic amendments under nitrogen-equivalent and nitrogen-reduced return conditions on organic flowering Chinese cabbage productivity, quality traits, and soil physicochemical properties

XU Jinyu^{1,2}, FU Libo¹, WANG Wei¹, YANG Yanxian¹, CHEN Hua¹, CHEN Jianfeng¹, WANG Zhiyuan¹, WANG Yingxue¹, YIN Mei¹

(1. Institute of Agricultural Environment and Resources, Yunnan Academy of Agricultural Sciences, Kunming 650205, Yunnan, China;

2. College of Agronomy and Life Science, Kunming University, Kunming 650214, Yunnan, China)

Abstract: This study investigated the effects of two organic materials nitrogen-equivalent and nitrogen-reduced on the yield, quality of organically flowering Chinese cabbage, and soil properties, aimed to explore new fertilizer sources for the production of organic vegetables. A greenhouse experiment was conducted with five treatments and three replicates: T1 (100% N from organic fertilizer, control: 16 780 kg·hm⁻²), T2 (80% N from organic fertilizer: 13 424 kg·hm⁻²), T3 (50% N from *Vicia villosa*+50% N from organic fertilizer: 6229 kg·hm⁻² fresh biomass+8390 kg·hm⁻² organic fertilizer), T4 (80% N from *Vicia villosa*: 9 966.4 kg·hm⁻²), and T5 (100% N from *Vicia villosa*: 12 458 kg·hm⁻²). After the application of the two organic materials with nitrogen-equivalent return, the agronomic traits, biomass, nitrogen, phosphorus, potassium, moisture, crude fiber, crude protein, soluble sugars, nitrate, chlorophyll, vitamin C, soil pH, organic matter, total nitrogen, hydrolyzable nitrogen, available phosphorus, and available potassium content of the vegetables were measured during the

收稿日期: 2024-12-30; 修回日期: 2025-04-15

基金项目: 云南省重大科技专项计划项目(202202AE090029); 国家绿肥产业技术体系昆明综合试验站(CARS-22-Z-14); 云南省曹卫东专家工作站(202305AF150016)

作者简介: 徐金玉, 女, 在读硕士研究生, 研究方向为土壤重金属修复研究。E-mail: 927010831@qq.com

通信作者: 尹梅, 女, 研究员, 主要从事农业环境与植物营养研究。E-mail: ymmay@163.com

harvest period. The results showed that compared to the organic fertilizer-only treatment, substituting *Vicia villosa* (hairy vetch) for organic fertilizer reduced soil physicochemical properties to varying degrees: pH decreased by 0.10-0.40, hydrolyzable nitrogen content declined by 0.67%-5.07%, available phosphorus content diminished by 22.56%-29.63%, and available potassium content reduced by 0.22%-6.00%. However, it increased vegetable biomass by 0.04%-5.60%, and improved plant crude protein content by 5.70%-14.91%, soluble sugar content by 7.56%-23.53%, and chlorophyll content by 3.06%-33.34%, indicating that *Vicia villosa* (hairy vetch) substitution can enhance vegetable biomass and quality. In this organic vegetable garden, the three treatments of T3 (50% *Vicia villosa* + 50% organic fertilizer), T4 (80% *Vicia villosa*), and T5 (100% *Vicia villosa*) had higher biomass and better quality of flowering Chinese cabbage, making them the preferable treatments. When exogenous green manure (*Vicia villosa*) is sufficient, the 80% *Vicia villosa* treatment is recommended, as it not only results in higher biomass but also reduces nitrogen input. If exogenous green manure is limited, the 50% *Vicia villosa*+50% organic fertilizer treatment can be adopted.

Key words: Flowering Chinese cabbage; Nitrogen-equivalent substitution; Nitrogen reduction strategy; Composted organic fertilizer; *Vicia villosa* var. *glabrescens*; Vegetable quality; Soil

蔬菜作为我国人均消费量最大且国内种植面积仅次于粮食的第二大农作物,在多元化食物供给体系中占据着不可或缺的地位,为国民饮食提供丰富营养与多样选择,支撑着整个食物供应生态的平衡^[1]。云南凭借得天独厚的地理和气候条件,成为全国重要的“南菜北运”“南菜东调”优质基地以及西南地区最大的蔬菜出口基地^[2-3]。这不仅是关乎民生的重要产业,更是拓宽农民收入来源、为农民提供稳定就业空间的关键途径。

随着人们对健康和环保的日益重视,有机蔬菜作为一种高品质的蔬菜品类逐渐进入人们的生活^[4]。有机蔬菜在种植过程中不可使用化学合成的农药、化肥、生长调节剂等物质,具有营养价值高、口感佳、健康环保等特点^[5]。然而,有机蔬菜生产过程中在肥料来源方面面临着独特的挑战,传统农业中可以较为便捷地使用化肥来满足蔬菜生长对各种元素的需求,但有机蔬菜的种植要求严格,限制了化学合成肥料的使用。传统有机肥虽然在有机蔬菜种植中有重要作用,但也存在一些缺点,如传统有机肥的氮素释放速度通常较为缓慢且不稳定,在成分和质量上可能存在较大差异^[6]。因此,寻找一种新的有机肥源对有机蔬菜生产具有重要意义。

绿肥种植是有机蔬菜土壤培肥的一项重要技术^[7]。绿肥还田可提高土壤有机质含量,改善土壤结构,还能补充土壤氮含量、提高氮素利用率,减少氮素损失^[8]。翻压外源光叶苕子可增加土壤碱解氮、速效磷、速效钾含量,提高生物量^[9]。豆科绿肥光叶苕子对土壤微生物碳源利用的能力高于其他绿肥,光叶苕子还田显著提升土壤中磷素的有效性^[10],且光叶苕子耐旱和耐贫瘠能力较强,是云南栽

培范围较广的一种豆科绿肥,广泛应用于农业实践中^[11-12]。

目前,关于有机蔬菜土壤的研究主要集中在有机肥等氮替代化肥方面^[13-14],而在设施有机蔬菜的生产中利用投入外源绿肥来代替有机肥的研究报道较少。本试验用等氮量外源绿肥糠(光叶苕子刈割、晾干、粉碎后制成)来替代有机肥,在有机蔬菜基地设施条件下研究对土壤、菜心生物量和品质的影响,为有机蔬菜生产中探索有机肥替代新肥源提供思路。

1 材料与方法

1.1 材料

试验地点为云南省昆明市盘龙区芸岭鲜生松花坝有机蔬菜基地,棚号 B10122D。

供试土壤:pH 值 7.9,有机质含量(w ,后同) $70.2\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,全氮含量 $3.52\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,全磷含量 $4.31\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,全钾含量 $7.90\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,水解性氮含量 $293.0\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,有效磷含量 $360.2\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,速效钾含量 $1391.0\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

供试有机蔬菜为菜心,品种为杂交菜心组合 2 (60 天),由广东科农蔬菜种业有限公司提供。有机蔬菜基地现用有机肥(自制有机肥,主要以菜园的废弃茎叶等堆沤制成)的纯 N、 P_2O_5 、 K_2O 含量分别为 1.85%、2.66%、2.14%;光叶苕子的纯 N、 P_2O_5 、 K_2O 含量分别为 2.51%、0.29%、2.03%。

1.2 试验设计

试验时间为 2023 年 5 月 18 日至 6 月 21 日。大棚试验,采取随机区组设计,共 5 个处理,3 次重复,小区面积为 24 m^2 ,如表 1 所示。光叶苕子为外源绿肥按设计量还田,有机肥与绿肥施用方式都是种植蔬菜前一次性施入,与耕层土壤混

匀翻压 3~5 d 后种植菜心,菜心为幼苗移栽,定植密度:株距为 3 cm,行距为 12 cm,除基肥中所用有机肥量和种类不一样外,其他栽培措施均一致。

表 1 试验设计
Table 1 Experimental design

处理 Treatment	施肥方式 Fertilization method	施肥量 Fertilizer amount/(kg·hm ⁻²)
T1(CK)	100% N 有机肥 100% N Organic fertilizer	有机肥 Organic fertilizer 16 780
T2	80% N 有机肥 80% N Organic fertilizer	有机肥 Organic fertilizer 13 424
T3	50% N 光叶苕子 <i>Vicia villosa</i> var. +50% N 有机肥 Organic fertilizer	光叶苕子 <i>Vicia villosa</i> var. 6229 +有机肥 Organic fertilizer 8390
T4	80% N 光叶苕子 80% N <i>Vicia villosa</i> var.	光叶苕子 <i>Vicia villosa</i> var. 9 966.4
T5	100% N 光叶苕子 100% N <i>Vicia villosa</i> var.	光叶苕子 <i>Vicia villosa</i> var. 12 458

1.3 样品采集及指标测定

种植前用五点取样法取耕层土壤混合样品,若样品量过多则采用四分法取适量样品带回实验室风干,测定土壤 pH 及有机质、水解性氮、有效磷、速效钾含量,两种有机物料还田后,在菜心收获期各处理分别随机取 20 株生长基本一致的完整菜心植株地上部(避免取边际植株样品),测定其农艺性状、生物量和菜心中的氮、磷、钾、水分、粗纤维、粗蛋白、可溶性糖、硝酸盐、叶绿素、维生素 C 含量;并且继续用五点取样法采集各处理耕层土壤混合样品,测定土壤 pH 及有机质、全氮、水解性氮、有效磷、速效钾含量。

1.3.1 土壤基本理化性质测定 土壤基本理化性质按照土壤农化分析^[15]的方法测定,具体如下:pH 值(电位法,超纯水提取,水土比为 2.5:1)、有机质含量(高温外热重铬酸钾氧化-滴定法)、水解性氮(NaOH-碱解扩散法)、有效磷含量(0.5 mol·L⁻¹ Na₂CO₃-钼锑抗比色法)、速效钾含量(1 mol·L⁻¹ NH₂OAc 浸提-火焰光度法)。

1.3.2 植株样品指标测定 光叶苕子植株养分含量、菜心植株养分含量、菜心品质具体指标及测定方法如下:氮(H₂SO₄-H₂O₂体系消解,全自动凯氏定氮仪测定)、磷(H₂SO₄-H₂O₂体系消解,分光光度计测定)、钾(H₂SO₄-H₂O₂体系消解,火焰光度计测定)、水分(烘干法粗纤维(稀 HCL、稀 NaOH 消煮,残渣称质量)、粗蛋白(H₂SO₄消解,全自动凯氏定氮仪测定)、可溶性糖(铜还原碘量法)、硝酸盐(紫外分光光度法)、叶绿素(分光光度法)、维生素 C(2,6-二氯酚酚滴定法)。

1.4 数据处理

所有数据的平均值、标准差、差异显著性采用 SPSS 27.0 进行方差分析和相关性分析,采用 Dun-

can's 新复极差法检验不同处理之间的差异显著性,并利用 Origin 2021 作图。

2 结果与分析

2.1 不同处理对土壤养分含量的影响

由表 2 可知,与 T1(CK)相比,不同处理的土壤 pH 值均有所下降,下降幅度为 0.10~0.40,其中 T4、T5 处理均下降了 0.40,与 T1 处理差异达显著水平。与 T1 处理相比,不同处理的土壤有机质含量变化幅度为-2.02%~2.29%,其中 T2、T3 处理有机质含量显著提高,而 T5 处理则显著下降 2.02%。与 T1 处理相比,不同处理的土壤中水解性氮除 T2 处理基本不变外,其余处理均下降,下降幅度为 0.67%~5.07%,其中 T3 处理显著下降 5.07%。与 T1 处理相比,不同处理的土壤中有有效磷含量除 T2 处理上升 1.17%外,其余处理均显著下降,下降幅度为 22.56%~29.63%。与 T1 处理相比,不同处理的土壤中速效钾含量均下降,下降幅度为 0.22%~7.53%,其中 T2 处理显著下降 7.53%。

2.2 不同处理对菜心氮磷钾养分含量和鲜样水分含量的影响

由表 3 可知,与 T1(CK)相比,T2、T3 处理菜心中的氮含量分别下降了 2.35%、3.62%;T4 处理菜心中的氮含量提高了 5.12%,与 T1 处理差异显著。与 T1 处理相比,不同处理下菜心中的磷含量均下降,下降幅度为 5.68%~17.05%,其中 T4 处理下菜心中的磷含量显著下降了 17.05%。与 T1 处理相比,仅 T5 处理下菜心中的钾含量提高了 5.34%,其他处理均下降,下降幅度为 1.45%~2.44%。而菜心中的鲜样水分含量无显著变化,范围为 93.80%~94.47%。

2.3 不同处理对菜心农艺性状和生物量的影响

不同处理对菜心农艺性状的影响各有不同,如

表 2 土壤养分含量
Table 2 Soil nutrient content

处理 Treatment	pH	w(有机质) Organic matter content/(g·kg ⁻¹)	w(水解性氮) Hydrolysable nitrogen content/(mg·kg ⁻¹)	w(有效磷) Available phosphorus content/(mg·kg ⁻¹)	w(速效钾) Rapidly available potassium content/(mg·kg ⁻¹)
T1(CK)	8.00±0.17 a	74.20±0.62 b	296.00±4.66 a	396.17±2.64 a	1 350.00±7.85 a
T2	7.90±0.17 ab	75.90±0.70 a	296.00±4.97 a	400.80±6.59 a	1 248.33±14.20 d
T3	7.90±0.17 ab	75.50±0.36 a	281.00±3.41 b	304.00±4.80 b	1 268.97±4.45 c
T4	7.60±0.17 b	74.00±0.62 b	294.03±6.77 a	306.80±3.48 b	1 347.00±6.92 a
T5	7.60±0.17 b	72.70±0.82 c	287.00±4.88 ab	278.80±4.18 c	1 302.00±9.04 b

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 treatments at 0.05 level. The same below.

表 3 菜心养分和鲜样水分含量
Table 3 Nutrient and fresh water content of flowering Chinese cabbage

处理 Treatment	w(N)/%	w(P)/%	w(K)/%	w(鲜样水分) Fresh water content/%
T1(CK)	4.69±0.04 bc	0.88±0.03 a	11.05±0.96 a	94.33±0.75 a
T2	4.58±0.12 cd	0.83±0.03 ab	10.78±0.37 a	94.47±0.86 a
T3	4.52±0.03 d	0.76±0.04 bc	10.84±1.00 a	94.27±0.90 a
T4	4.93±0.08 a	0.73±0.05 c	10.89±0.74 a	93.80±0.15 a
T5	4.72±0.05 b	0.79±0.03 bc	11.64±0.65 a	94.37±0.84 a

表 4 所示。4 个处理的株高、叶长和叶宽与 T1(CK)均没有显著差异。其中,T2 处理下株高最高,为 27.04 cm;T1 处理下叶长最长,为 24.94 cm;T4 处理下叶宽最宽,为 10.42 cm;T5 处理下叶片数最多,为 7.50 片。菜心生物量从大到小排序为:T5>T3>T4>T1>T2,与 T1 处理相比,仅 T2 处理下菜心生物量显著下降了 6.95%,其他处理均有所提高,提高幅度为 0.04%~5.60%,其中 T5 处理下

菜心生物量提高了 5.60%,与 T1 处理差异显著。
2.4 不同处理对菜心粗蛋白、维生素 C、可溶性糖含量的影响

如图 1-A 所示,与 T1(CK)相比,菜心中的粗蛋白含量除 T2 处理下降 3.95%外,其他处理升高了 5.70%~14.91%,且 T4 处理粗蛋白含量提高了 14.91%,与 T1 处理差异显著。如图 1-B 所示,与 T1 处理相比,菜心中的维生素 C 含量除在 T2 处理

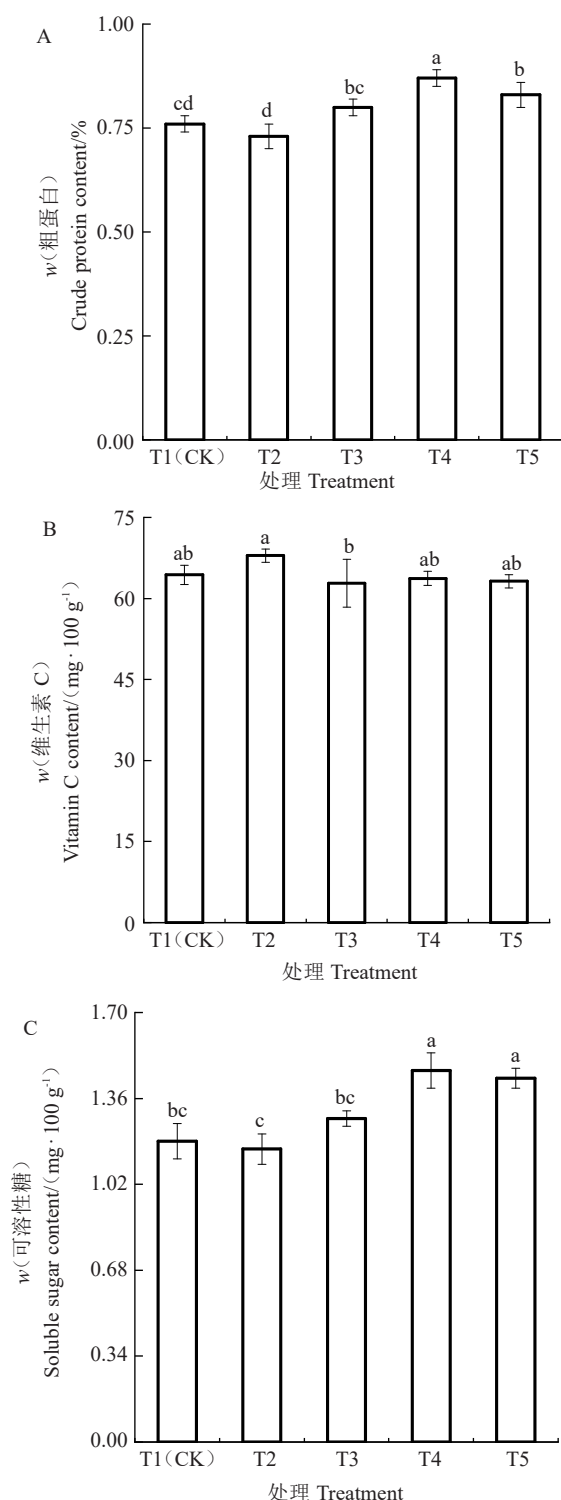
表 4 菜心农艺性状和生物量
Table 4 Agronomic traits and biomass of flowering Chinese cabbage

处理 Treatment	株高 Plant height/cm	叶长 Leaf length/cm	叶宽 Leaf width/cm	叶片数 Leaf number	20 株生物量 Biomass of 20 plants/g
T1(CK)	27.01±1.00 a	21.94±1.10 a	10.28±0.48 a	7.24±0.26 ab	909.60±7.60 b
T2	27.04±1.10 a	21.93±0.61 a	10.04±0.98 a	6.25±0.27 c	846.40±16.40 c
T3	26.07±0.70 a	21.34±1.06 a	10.36±0.31 a	6.90±0.16 b	923.00±14.00 b
T4	25.95±0.50 a	21.61±0.46 a	10.42±0.60 a	7.30±0.30 ab	910.00±20.00 b
T5	26.86±0.50 a	21.75±1.04 a	10.30±0.81 a	7.50±0.62 a	960.50±18.50 a

下提高了 5.55%外,其他处理下降了 1.03%~2.43%。如图 1-C,与 T1 处理相比,菜心中的可溶性糖含量除在 T2 处理下降 2.52%外,其余处理升高了 7.56%~23.53%,其中 T4、T5 与 T1 处理差异显著,分别提高 23.53%、21.01%。

2.5 不同处理对菜心粗纤维、叶绿素含量的影响
如图 2-A 所示,与 T1(CK)相比,各处理下菜心

中的粗纤维含量差异均不显著,其中 T4 处理粗纤维含量提高 0.66%,T2、T3、T5 处理分别下降 4.25%、2.94%、8.82%。如图 2-B 所示,各处理下菜心中的叶绿素含量差异较大,与 T1 处理相比,除 T2 处理叶绿素含量下降 1.02%外,其他处理均提高,幅度为 3.06%~33.34%,其中 T3、T4 与 T1 处理差异达显著水平,分别提高 33.34%、23.13%。



注:不同小写字母表示处理间在 0.05 水平存在显著差异。下同。

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

图1 有机物料等氮还田对菜心粗蛋白、维生素C、可溶性糖含量的影响

Fig. 1 Effects of isonitrogen return from organic materials on crude protein, vitamin C and soluble sugar content of flowering Chinese cabbage

2.6 不同处理对菜心硝酸盐含量的影响

由图3可知,与T1(CK)相比,除在T5处理下提高2.92%外,其他处理均显著下降,下降范围为7.01%~8.50%,其中T2、T3与T1处理差异达显著水平,分别为8.19%、8.50%。

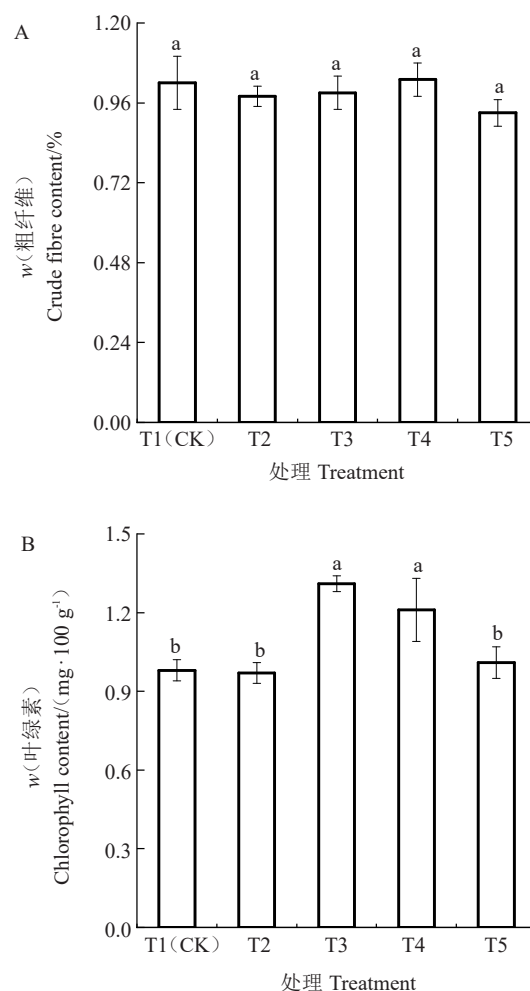


图2 有机物料等氮还田对菜心粗纤维、叶绿素含量的影响

Fig. 2 Effects of isonitrogen return from organic materials on crude fiber and chlorophyll content of flowering Chinese cabbage

2.7 相关性分析

由图4可知,粗纤维含量与植株鲜样水分含量呈较强负相关(-0.80),粗蛋白含量与土壤有机质、植株磷含量呈较强负相关(-0.80),与可溶性糖含量呈极强正相关(1.00);维生素C含量与土壤水解性氮含量和有效磷含量呈极强正相关,相关系数分别为0.97、0.90,与叶绿素含量呈极强负相关(-0.90);可溶性糖含量与植株磷含量呈较强负相关(-0.80);硝酸盐含量与土壤有机质含量呈较强负相关

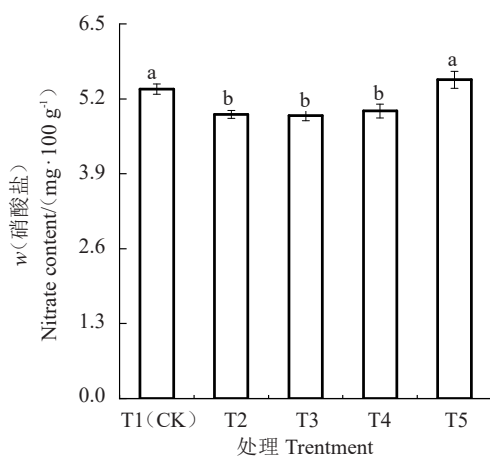


图3 有机物料等N还田对菜心硝酸盐含量的影响

Fig. 3 Effects of organic materials such as N returning to the field on nitrate content of flowering Chinese cabbage

(-0.80),与植株钾含量呈极强正相关(0.90);叶绿素含量与土壤水解性氮、植株磷、鲜样水分、维生素C含量均呈较强负相关,相关系数分别为:-0.87、-0.80、-0.80、-0.90。

3 讨论与结论

土壤pH值对土壤养分有效性有着重要影响^[16]。本试验中有机肥减量和绿肥等氮量替代都会不同程度地降低土壤pH值,特别是绿肥等氮量替代的处理,这可能是因为绿肥本身富含有机物质和各种养分。随着绿肥在土壤中的分解,释放出更多的阳离子养分,如钾离子、钙离子、铵离子,为维持电中性,土壤会释放出更多的氢离子(H⁺),使土壤pH值下降^[17]。

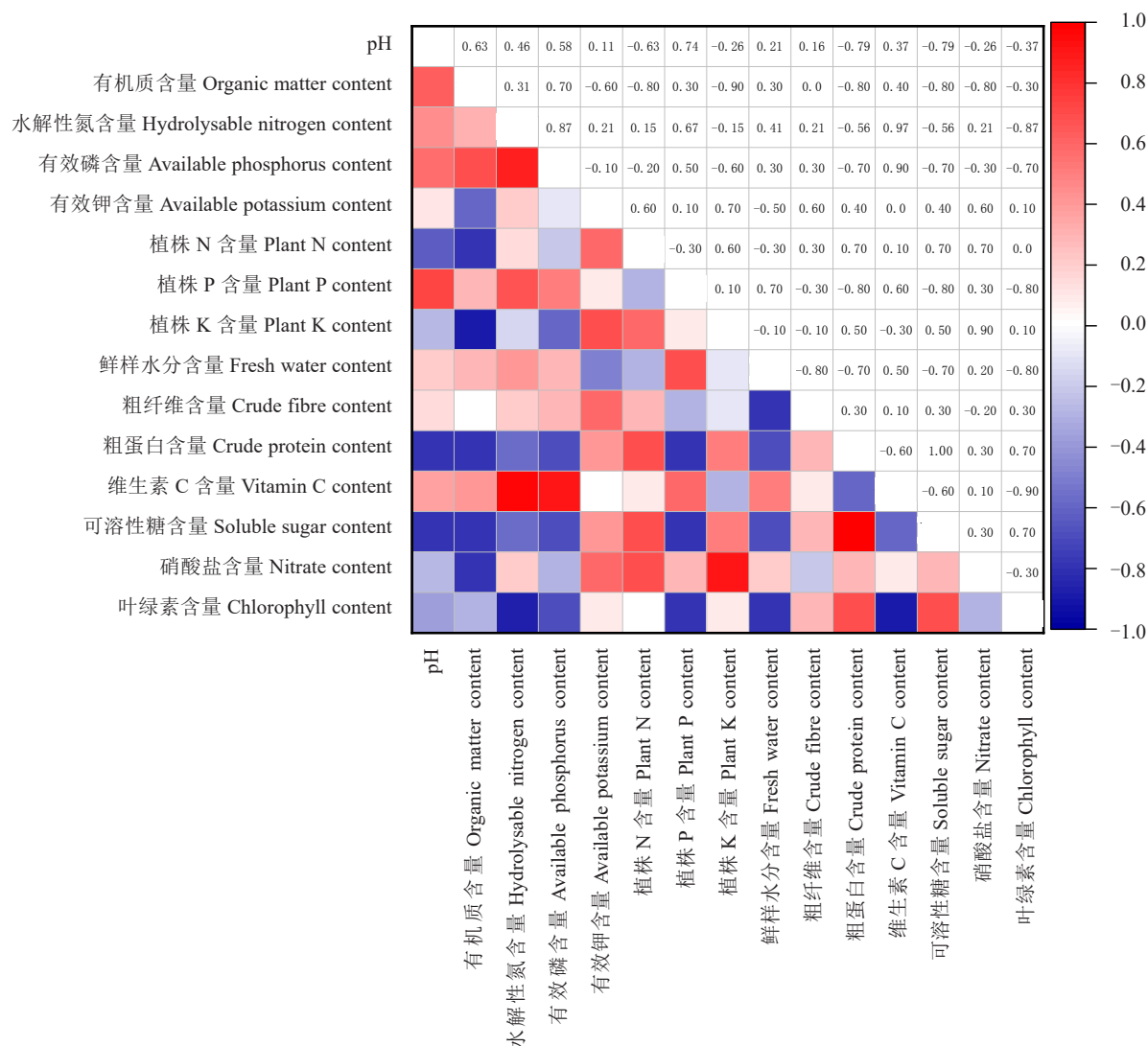


图4 菜心品质与土壤养分的相关性分析

Fig. 4 Correlation analysis between flowering Chinese cabbage quality and soil nutrients

绿肥富含氮、磷、钾等多种营养元素。在绿肥还田后,随着其在土壤中的分解,这些营养元素会逐渐释放出来,供作物吸收利用^[18],袁浩亮等^[19]的研究表明,土壤氮、磷、钾养分可直接影响植株氮、磷、钾养分含量。在本试验中,与 T1(CK)相比,T3、T4、T5 处理下土壤氮、磷含量都出现了不同程度下降,植株中的磷、钾养分含量也出现不同程度下降,可能是因为绿肥腐解过程中释放出的阳离子与土壤溶液中的磷酸根离子结合,形成难溶性的磷酸盐沉淀^[20],且绿肥翻压后改变了土壤的物理性质,使土壤结构变得更加疏松多孔,造成营养物质的释放和流失,短期内降低了土壤养分的有效性,进而降低了植株中的养分含量^[21-22]。长期效果则需要进一步的监测试验。本试验中 T4、T5 处理下植株的氮含量与 T1 处理相比反而提高了,这可能是因为大量绿肥还田改善了土壤质量,提供了丰富的微量元素,促进了作物对氮素的吸收利用^[23-24]。

有机蔬菜基地土壤氮、磷、钾养分含量背景值较高,现用有机肥的氮、磷、钾养分比例中磷、钾元素含量高于氮元素含量,蔬菜又属于需氮量较高的作物^[25-26],而光叶苕子属于豆科作物,可以为土壤提供大量氮元素,能够为蔬菜的生长提供充足的氮源^[27]。本试验中绿肥替代处理下的菜心生物量显著高于有机蔬菜基地现用有机肥的生物量,与阮彦楠等^[9]的试验结果一致。

硝酸盐、维生素 C、可溶性糖含量等均是评估蔬菜品质的关键指标,这些指标的含量水平对蔬菜的品质与口感具有重要影响^[28-29]。本研究结果表明,用绿肥等氮量替代有机肥处理下,植株中的粗蛋白、可溶性糖、叶绿素含量都出现了不同程度的升高,说明等氮量的绿肥翻压替代有机肥可以提高菜心的品质。

硝酸盐含量是蔬菜生产中重要的安全指标,降低硝酸盐含量是生产优质蔬菜的关键,本研究结果表明,与 T1 处理相比,T3、T4 处理显著降低了硝酸盐含量,与周丽平等^[30]的研究结果相似。可能是因为一定量的豆科绿肥替代为植株提供的可利用氮素较多而钾素较少,使植株中的钾含量降低,但是具体原因和更佳的有机肥与绿肥的配比需要进一步探索。

在土壤氮、磷、钾养分背景值较高的土壤中,根据种植蔬菜的养分需求规律,适当调整肥源的供应,可以提高土壤缓冲能力。本试验中 T3(50%N 光叶苕子+50%N 有机肥)、T4(80%N 光叶苕子)处

理的菜心生物量较大,品质较好。在外源绿肥光叶苕子充足的前提下可采用 80%N 光叶苕子处理,不仅生物量大,还可以减氮;若外源绿肥光叶苕子不足,可采用 50%N 光叶苕子+50%N 有机肥处理。

参考文献

- [1] 张素,杨淑华,唐姜烽,等.云南省蔬菜产业高质量发展水平测度及影响因素研究[J].云南农业大学学报(社会科学),2024,18(6):90-97.
- [2] 云南省网上新闻发布厅.“云南这十年”系列新闻发布会,高原特色农业专场发布会[A].2022-08-24.
- [3] 龚映梅,王宁.基于组合预测法的云南省生鲜农产品冷链物流需求预测[J].江苏商论,2024(5):33-37.
- [4] 陈沛,蒋大勇.绿色农业背景下有机蔬菜种植与管理技术研究[J].种子科技,2024,42(13):104-106.
- [5] 徐海平.有机蔬菜种植的前景分析与对策[J].广东蚕业,2020,54(3):7-8.
- [6] 刘兵,刘煜,郝卓,等.自然降雨下紫色土坡耕地碳源添加对碳迁移及固碳的影响机制[J].水土保持学报,2025,39(1):229-238.
- [7] 李观村.有机蔬菜种植模式及关键技术的推广应用策略[J].农村科学实验,2024(22):93-95.
- [8] 张军倩,董玉兵,焦颖,等.氮肥调控对紫云英-水稻轮作系统结瘤固氮特征及生产力的影响[J].植物营养与肥料学报,2024,30(1):1-11.
- [9] 阮彦楠,吕本春,杨伟,等.不同光叶苕子用量对娃娃菜生长发育与吸收镉砷的影响[J].江苏农业科学,2024,52(11):160-172.
- [10] 王仕海,尚军,汤红印,等.不同绿肥腐解对烟田土壤有效磷含量影响的微生物机制[J].土壤,2024,56(4):769-775.
- [11] LI P, JIA L, CHEN Q Q, et al. Adaptive evaluation for agricultural sustainability of different fertilizer management options for a green manure-maize rotation system: Impacts on crop yield, soil biochemical properties and organic carbon fractions[J]. The Science of the Total Environment, 2023, 908: 168170.
- [12] 赵文军,刘蕊,王正旭,等.烤烟-绿肥轮作对云南烟田土壤质量与微生物养分限制的影响[J].草业学报,2024,33(10):147-158.
- [13] 马纪龙,姬丽,马琨,等.有机肥等氮量替代化肥对玉米氮素吸收利用及土壤氮素淋失的影响[J].中国生态农业学报(中英文),2025,33(2):286-300.
- [14] 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.
- [15] 鲍士旦.土壤农化分析[M].3版.北京:中国农业出版社,2000.
- [16] 张恩,王彬,白小龙,等.不同改良物料对内蒙河套平原盐碱土壤改良效果研究[J].中国农学通报,2024,40(32):44-49.
- [17] HARTEMINK A E, BARROW N J. Soil pH-nutrient relationships: The diagram[J]. Plant Soil, 2023, 486(1/2):209-215.
- [18] 曹卫东,周国朋,高嵩涓.绿肥内源驱动土壤健康的作用与机制[J].植物营养与肥料学报,2024,30(7):1274-1283.
- [19] 袁浩亮,张江林,鲁艳红,等.紫云英和秸秆替代部分化肥对双

- 季稻产量、养分含量及土壤综合肥力的影响[J].土壤,2023,55(6):1216-1222.
- [20] 张建薇.毛豆绿肥与磷肥混施对水稻土肥际微域中磷素迁移转化的影响[D].武汉:华中农业大学,2023.
- [21] ZHONG J X, LI Z Y, TANG H Q, et al. The application of varying amount of green manure combined with nitrogen fertilizer altered the soil bacterial community and rice yield in karst paddy areas[J]. BMC Plant Biology, 2024, 24(1):646.
- [22] 曹瑾,苑壮,王红,等.绿肥对河北坝上错季蔬菜地土壤的改良效果[J].北方园艺,2024(13):65-73.
- [23] 韦金贵,毛守发,江俞欣,等.绿肥对减量施氮小麦籽粒生物量和氮素利用的补偿机制[J].作物学报,2024,50(12):3129-3143.
- [24] 吴多基,姚冬辉,范钊,等.长期绿肥和秸秆还田替代部分化肥提升红壤性水稻土酸解有机氮组分比例及供氮能力[J].植物营养与肥料学报,2022,28(2):227-236.
- [25] 白新禄.设施菜地土壤氮素累积及调控研究[D].陕西杨凌:西北农林科技大学,2021.
- [26] 张萌,程瑞梅,沈雅飞,等.光叶苕子覆盖对土壤团聚体不同来源碳积累的影响[J].应用生态学报,2025,36(1):141-151.
- [27] 冯瑜,陈华,付利波,等.利用绿肥提高云南抚仙湖径流区烟田土壤养分和烤烟品质[J].植物营养与肥料学报,2023,29(11):2083-2094.
- [28] 王健,刘媛,闫凤岐,等.4种有机蔬菜与普通蔬菜品质比较研究[J].食品工业,2018,39(12):151-154.
- [29] 刘洋,王艳群,孙建敏,等.不同施肥调控措施对设施番茄生物量、养分利用及品质的影响[J].安徽农业科学,2024,52(22):147-150.
- [30] 周丽平,赵秋,宁晓光,等.绿肥对设施青椒产量品质及土壤理化性状的影响[J].中国土壤与肥料,2022(2):65-71.