

螯合钙与氮互作对结球生菜产量、品质和土壤理化性状的影响

刘 瑜, 闫 实, 赵凯丽, 于跃跃, 梁金凤, 陈 娟, 郭 宁

(北京市耕地建设保护中心 北京 100101)

摘要: 为了探索京郊设施结球生菜钙肥和氮肥的适宜施用量, 以射手 101 为试验材料, 田间试验设置 0(Ca₀)、30(Ca₁)g·667 m⁻² 2 个氨基酸螯合钙水平, 0(N₀)、3.1(N₁)、6.2(N₂)、9.3(N₃)kg·667 m⁻² 4 个氮肥水平。结果表明, Ca₁ 水平下结球生菜产量较 Ca₀N₀ 水平显著提高, Ca₁N₀、Ca₁N₁ 和 Ca₁N₂ 处理产量分别较不施钙 Ca₀N₀、Ca₀N₁ 和 Ca₀N₂ 处理提高 23.61%、2.05% 和 7.39%。品质方面, 不施钙条件下, 施氮处理的硝酸盐含量高于不施氮处理, 但施钙后除 N₃ 水平硝酸盐含量高于不施氮外, N₁、N₂ 氮水平下硝酸盐含量低于不施氮; N₁ 水平的维生素 C 含量高于或等于不施氮水平, 其他氮水平下的维生素 C 含量低于不施氮; 除 N₃ 水平外, 施入钙肥明显提高了结球生菜全钙含量。施入氮肥后土壤碱解氮含量高于或等于不施氮处理, Ca₁N₃ 处理土壤碱解氮含量最高, 较 Ca₀N₀ 处理显著提高 15.62%, 施钙后各处理土壤 pH 均较同一施氮水平不施钙处理降低。综上所述, 减肥、稳产、增效栽培最优拟合施肥方案为施氮量(纯 N)4.9 kg·667 m⁻²+施钙量 30 g·667 m⁻², 可保证结球生菜高产和品质提升。

关键词: 生菜; 钙; 氮; 产量; 品质; 土壤理化性状

中图分类号: S636.2

文献标志码: A

文章编号: 1673-2871(2023)05-120-05

Effects of calcium and nitrogen interaction on yield, quality and soil physical and chemical properties of head lettuce

LIU Yu, YAN Shi, ZHAO Kaili, YU Yueyue, LIANG Jinfeng, CHEN Juan, GUO Ning

(Beijing Cultivated Land Construction and Protection Center, Beijing 100101, China)

Abstract: The aim of this study was to explore the effects of appropriate application rates of calcium and nitrogen fertilizer for head lettuce in the suburbs of Beijing. Using Archer 101 as the experimental material, 0(Ca₀) and 30(Ca₁) g·667 m⁻² two calcium fertilizer levels were set in the field experiment. 0(N₀), 3.1(N₁), 6.2(N₂), 9.3(N₃) kg·667 m⁻² four nitrogen fertilizer levels. The results showed that the yield of lettuce under Ca₁ level was significantly increased compared with Ca₀ level, and the yield of Ca₁N₀, Ca₁N₁ and Ca₁N₂ treatments was increased by 23.61%, 2.05% and 7.39% compared with Ca₀N₀, Ca₀N₁ and Ca₀N₂ treatments, respectively. In terms of quality, nitrate content increased and VC content decreased with the increase of nitrogen application. Calcium fertilizer significantly increased the total calcium content of head lettuce. With the increase of nitrogen application rate, soil alkali-hydrolyzed nitrogen content showed an increasing trend, and the soil alkali-hydrolyzed nitrogen content in Ca₁N₃ treatment was the highest, which was significantly increased by 15.62% compared with Ca₀N₀ treatment. There was no significant difference in soil exchangeable Ca content among all treatments, but the pH of soil treated with Ca₁N₁ and Ca₁N₃ was lower than that without Ca. In this experiment, the optimal fertilization scheme of stable yield and efficiency cultivation for weight loss can adopt nitrogen application amount of 4.9 kg·667 m⁻² and calcium application amount of 30 g·667 m⁻², which can ensure high yield and quality improvement of head lettuce.

Key words: Lettuce; Calcium; Nitrogen; Production; Quality; Physical and chemical properties of soil

结球生菜是北京种植面积较大的作物之一, 合理施肥是其增产的重要手段^[1]。氮素是植物重要的营养元素之一, 有促进植株光合作用和蛋白质合成

的效果, 与结球生菜生理代谢、产量和品质密切相关^[2-3]。笔者通过调研了解到京郊结球生菜平均施氮量为 295.5 kg·hm⁻², 远高于其氮肥需求量。过量

收稿日期: 2022-10-12; 修回日期: 2023-03-22

基金项目: 现代农业产业技术体系北京市设施蔬菜创新团队(BA101-2022)

作者简介: 刘 瑜, 女, 高级农艺师, 主要从事土壤肥料研究与推广工作。E-mail: liuyu850812@163.com

通信作者: 郭 宁, 男, 正高级农艺师, 主要从事土壤障碍改良与施肥技术推广工作。E-mail: guoning829@126.com

施氮会导致肥料利用率降低和生态环境污染等一系列问题^[4-5],因此科学合理施用氮肥是目前北京农业绿色高效发展亟需解决的问题。钙是植物必需的中量元素,蔬菜对钙元素的需求量仅次于氮、磷、钾元素^[6]。钙对碳水化合物和蛋白质的合成过程,以及植物体内生理活动的平衡等起着重要作用^[7-8],钙肥施用是影响结球生菜产量和品质的重要栽培措施。张建华等^[9]研究表明,适宜的氮钾钙配比可以促进生菜的生长,使产量提高 9.5%,叶绿素含量和维生素 C 含量分别提高 19%和 13%。韩巍等^[10]研究表明,设施蔬菜种植中,土壤中氮、磷、钾的富集加剧了蔬菜土壤有效钙的缺乏。

前人对结球生菜施肥已有大量研究,但主要以氮或者钙单因素为主,且集中于盆栽试验和特定土壤类型。因此发挥氮肥和钙肥对结球生菜生长最佳的互作效应,以降低氮肥用量、提高作物品质,对

京郊设施蔬菜发展有重要意义。笔者的试验在前期工作基础上,设置不同的施钙量和施氮量,研究其对结球生菜产量、品质和土壤理化性状的影响,旨在为结球生菜氮肥减量增效提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验于 2021 年在北京市顺义区杨镇松各庄村农户进行,年平均气温 11.5 °C,年日照时数 2750 h,无霜期 195 d 左右。年均相对湿度 50%,年均降水量约 625 mm,为华北地区降水量较均衡的地区之一,全年降水的 75%集中在夏季。土壤类型为褐土。2021 年 9 月 3 日定植,11 月 18 日收获,钢架拱棚种植,棚长 55 m,跨度 11 m,土壤基本理化性状见表 1。

表 1 0~20 cm 土层基本理化性状

理化参数	w(有机质)/ (g·kg ⁻¹)	w(全氮)/ (g·kg ⁻¹)	w(碱解氮)/ (mg·kg ⁻¹)	w(有效磷)/ (mg·kg ⁻¹)	w(速效钾)/ (mg·kg ⁻¹)	w(交换性钙)/ (mg·100 g ⁻¹)	pH
数值	24.06	1.63	110.56	225.51	293.85	15.83	7.35

1.2 材料

结球生菜品种为射手 101,由北京蔬之家农业科技有限公司提供,栽培行株距为 33 cm×25 cm。试验所用氨基酸螯合钙(生产厂家西班牙迈娜制药有限公司)以天然氨基酸混合物络合钙元素而成,钙质量浓度(Ca)≥30 g·L⁻¹,尿素 N 含量(w)46.7%。

1.3 试验设计

试验采用二因素裂区设计,设置钙肥水平为主区,氮肥水平为副区。设 0(Ca₀)、30(Ca₁)g·667 m⁻² 2 个钙肥水平,0(N₀)、3.1(N₁)、6.2(N₂)、9.3(N₃)kg·667 m⁻² 4 个氮肥(纯 N)水平,共 8 个处理,每个处理 3 次重复,小区面积 25.2 m²。钙肥为氨基酸螯合钙(Ca≥30 g·L⁻¹),氮肥为尿素(N 含量 46.7%)。磷肥基肥为过磷酸钙(P₂O₅ 含量 18%),追肥为磷酸二氢钾(P₂O₅ 含量 52%、K₂O 含量 34%)、硫酸钾(K₂O 含量 52%),各处理磷钾肥用量一致。按照质量比施用肥料,氮肥基追比 3:7,磷肥基追比 4:6,钾肥基追比 3:7。氨基酸螯合钙在结球初期和结球中期分 2 次滴灌,其他管理措施各处理均相同,具体施肥量见表 2。

1.4 测定方法

产量测定:收获期,每个小区选取连续 15 株,

表 2 各处理施肥量

处理	N 施用量/ (kg·667 m ⁻²)	P ₂ O ₅ 施用量/ (kg·667 m ⁻²)	K ₂ O 施用量/ (kg·667 m ⁻²)	Ca 施用量/ (g·667 m ⁻²)
Ca ₀ N ₀	0.00	4.35	7.13	0
Ca ₀ N ₁	3.10	4.35	7.13	0
Ca ₀ N ₂	6.20	4.35	7.13	0
Ca ₀ N ₃	9.30	4.35	7.13	0
Ca ₁ N ₀	0.00	4.35	7.13	30
Ca ₁ N ₁	3.10	4.35	7.13	30
Ca ₁ N ₂	6.20	4.35	7.13	30
Ca ₁ N ₃	9.30	4.35	7.13	30

去除表层叶片,测定生菜净菜产量。

土壤测定:收获期,每个小区随机采集 3 份 0~20 cm 深度的土样,风干后采用重铬酸钾外加热法测定土壤有机质含量,采用碱解扩散法测定碱解氮含量,采用 0.5 mol·L⁻¹ NaHCO₃ 钼锑抗比色法测定有效磷含量,采用火焰光度计法测定速效钾含量,采用电极电位法测定 pH 值,水土体积比为 5:1,采用乙酸铵溶液交换法测定交换性钙含量。

植株测定:每小区随机取 2 株,采用高效液相色谱法测定植株维生素 C 含量,采用离子色谱法测定硝酸盐含量,采用电感耦合等离子体发射光谱仪法测定全钙含量。

1.5 数据处理

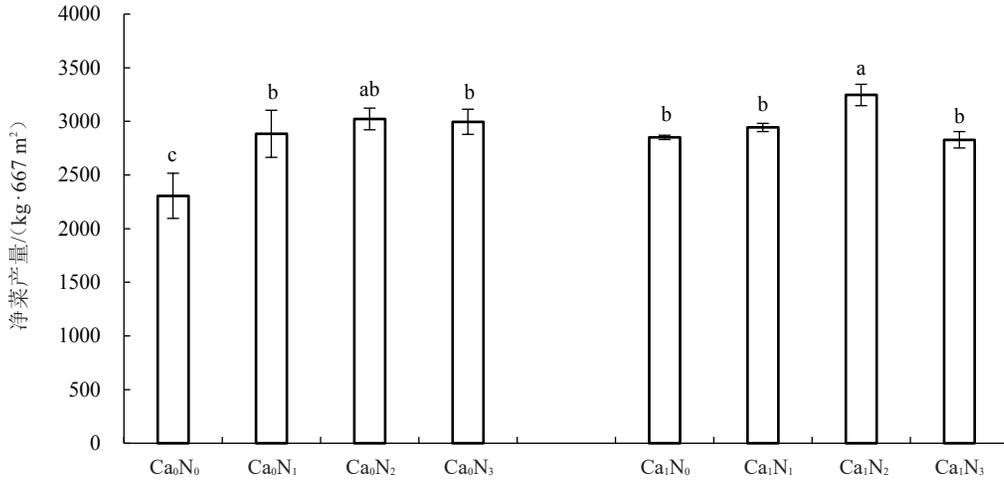
采用 Microsoft Excel 2013 和 SASS 8.1 软件分析数据,对不同处理之间生菜产量、品质和土壤数据进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 不同处理对结球生菜产量的影响

由图 1 可以看出,同一施钙水平下,结球生菜

产量随着施氮量的增加呈先升高后降低的趋势。不施钙条件下 Ca_0N_2 处理结球生菜产量最高, 667 m^2 达到 $3\ 022.46\text{ kg}$, 较 Ca_0N_0 处理显著提高 31.07% ; 施钙条件下 Ca_1N_2 处理结球生菜产量最高, 显著高于其他处理, 分别较 Ca_1N_0 、 Ca_1N_1 和 Ca_1N_3 处理提高 13.87% 、 10.29% 和 14.76% 。除 N_3 水平外, 同等氮肥用量条件下, 施用钙肥的结球生菜产量均高于不施用钙肥处理。 Ca_1N_0 、 Ca_1N_1 和 Ca_1N_2 处理



注:不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著。下同。

图 1 各处理结球生菜产量

产量均高于相应氮水平的不施钙 Ca_0N_0 、 Ca_0N_1 和 Ca_0N_2 处理。表明获得结球生菜高产,可以通过增

施钙肥来实现,并且钙肥施用可作为氮肥减施后生菜稳产高产的重要栽培措施。

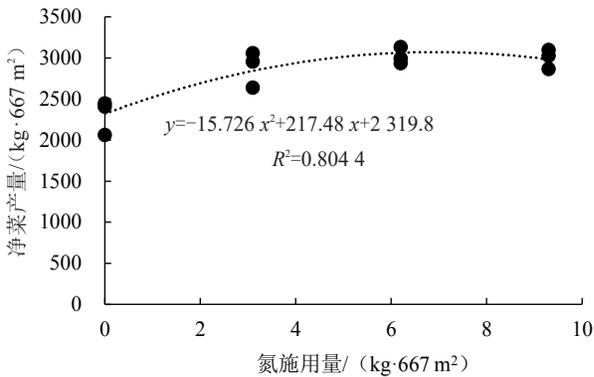


图 2 不施钙条件下氮肥用量对结球生菜产量的影响

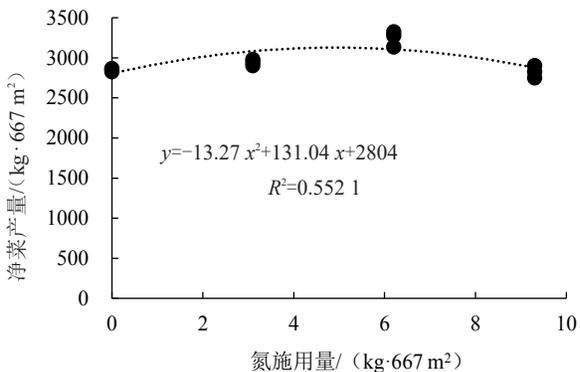


图 3 施钙条件下氮肥用量对结球生菜产量的影响

由图 2 和图 3 可知,不施钙条件下,氮肥与结球生菜产量的关系可用二次方程模拟 $y=-15.726x^2+217.48x+2\ 319.8$, 获得最高产量的最佳施 N 量为 $6.91\text{ kg}\cdot 667\text{ m}^2$; 施钙条件下,氮肥与结球生菜产量的关系可用二次方程模拟 $y=-13.27x^2+131.04x+2804$, 获得最高产量的最佳施 N 量为 $4.94\text{ kg}\cdot 667\text{ m}^2$ 。施用钙肥后促进了植株对氮素的吸收,可以达到减少氮肥投入的效果。

2.2 不同处理对结球生菜品质的影响

由表 3 可以看出,不施钙条件下,结球生菜硝酸盐含量随着氮肥投入量的增加呈先升高后降低趋势;施钙条件下,随着氮肥投入量的增加,结球生菜硝酸盐含量无显著增加趋势,可能是钙肥抑制了硝酸盐的转化。 Ca_0N_2 处理硝酸盐含量最高,较 Ca_0N_0 处理增加 18.09% , 差异显著;其他各处理间硝酸盐含量无显著差异。

不施钙条件下,随着氮肥投入量的增加,结球生菜维生素 C 含量有降低趋势。 Ca_0N_2 和 Ca_1N_3 处理维生素 C 含量均较低,分别较 Ca_0N_0 和 Ca_1N_1 处理降低 26.97% 和 14.97% 。不施钙条件下, Ca_0N_0 和

表3 不同处理对结球生菜品质的影响

处理	w(硝酸盐)/ (mg·kg ⁻¹)	w(维生素 C)/ (mg·100 g ⁻¹)	w(全钙)/ (g·kg ⁻¹)
Ca ₀ N ₀	1 381.78±51.37 b	4.56±0.31 a	4.07±0.05 b
Ca ₀ N ₁	1 443.18±36.19 ab	4.56±0.19 a	4.24±0.22 ab
Ca ₀ N ₂	1 631.78±112.19 a	3.33±0.12 c	3.87±0.13 b
Ca ₀ N ₃	1 546.21±106.33 ab	3.42±0.26 c	4.10±0.47 b
Ca ₁ N ₀	1 484.01±100.19 ab	3.46±0.32 bc	4.72±0.19 a
Ca ₁ N ₁	1 479.58±114.58 ab	3.94±0.10 b	4.27±0.50 ab
Ca ₁ N ₂	1 439.81±24.88 ab	3.41±0.32 c	4.22±0.23 ab
Ca ₁ N ₃	1 585.94±142.71 ab	3.35±0.46 c	3.91±0.25 b

Ca₀N₁处理的维生素C含量显著高于其他2个处理;施钙条件下, Ca₁N₁处理维生素C含量显著高于Ca₁N₂和Ca₁N₃处理。

除N₃水平外,其他氮水平施入钙肥处理的全钙含量明显高于不施钙处理。施钙条件下,随着氮肥投入量的增加,全钙含量呈降低趋势。Ca₁N₀处理全钙含量最高,较Ca₁N₃处理提高20.72%,二者差异显著,同时Ca₁N₀处理全钙含量均高于其他不施钙处理。

2.3 不同处理对土壤理化性状的影响

由表4可以看出,各处理间收获后土壤交换性钙含量均无显著差异。施用氮肥后土壤中碱解氮含量均高于或等于不施氮处理。Ca₁N₃处理土壤碱解氮含量最高,比Ca₀N₀处理显著提高15.62%,与其他各处理间均无显著差异。土壤pH在施钙处理后较不施钙处理降低,其中, Ca₁N₁和Ca₁N₃处理的pH分别降低至6.83和6.87。

表4 不同处理对土壤理化性状的影响

处理	w(碱解氮)/ (mg·kg ⁻¹)	w(交换性钙)/ (g·kg ⁻¹)	pH
Ca ₀ N ₀	119.35±3.21 b	16.09±0.33 a	7.18±0.13 a
Ca ₀ N ₁	135.18±9.40 a	16.00±0.54 a	6.89±0.06 b
Ca ₀ N ₂	133.01±5.54 a	16.40±1.16 a	7.02±0.13 ab
Ca ₀ N ₃	135.68±5.09 a	16.99±1.59 a	7.00±0.10 ab
Ca ₁ N ₀	126.05±11.60 ab	16.42±1.10 a	7.12±0.08 a
Ca ₁ N ₁	131.61±5.17 a	15.90±0.43 a	6.83±0.07 b
Ca ₁ N ₂	126.05±4.73 ab	16.20±0.40 a	6.99±0.16 ab
Ca ₁ N ₃	137.99±1.78 a	17.53±0.92 a	6.87±0.04 b

3 讨论与结论

施氮和施钙对提高作物产量和品质有重要作用^[11-13]。刘宇曦等^[14]研究表明,樱桃番茄追施纯N 120 kg·hm⁻²,可以显著提高产量和品质。何鑫等^[15]研究表明,喷施适当浓度硝酸钙,可增加水培生菜叶片数、根长、根冠比,增加生菜地上部分磷、钾、

钙含量。在笔者的试验条件下,随着氮肥用量的增加,结球生菜产量呈先升高后降低的趋势,表明适量施用氮肥可以实现结球生菜增产,但是过量施用会降低氮素利用率。在不施氮水平下,追施氨基酸螯合钙肥后结球生菜产量较不施钙处理显著增加,通过二次方程分析得出,不施钙处理结球生菜最佳施氮量(纯N)为6.91 kg·667 m⁻²,施钙处理最佳施氮量(纯N)为4.94 kg·667 m⁻²,施用钙肥可以降低氮肥投入。

钙在促进果实品质方面有重要作用^[16-18]。王齐龙^[19]研究表明,减氮30%配施钙镁处理显著降低生菜硝酸盐含量41.40%,提高维生素C含量6.60%;化肥减量可以显著促进甘蓝和生菜生长,提高产量,改善品质^[20-21]。在笔者的试验中,随着施氮量的增加,不施钙处理下,施氮处理硝酸盐含量高于不施氮处理,但施钙后N₃水平硝酸盐含量高于不施氮, N₁、N₂水平下硝酸盐含量低于不施氮;施入N₁水平氮肥,维生素C含量高于或等于不施氮水平,其他氮水平维生素C含量低于不施氮。追施钙肥后N₂水平硝酸盐含量最低,表明施钙后可以抑制NO₃转化,这与娄春荣等^[22]的研究结果一致。钙是植物体内重要营养元素,除N₃水平外,其他施钙处理提高了结球生菜全钙含量0.71%~15.97%,大量施用氮肥会降低结球生菜对钙的吸收,不利于作物品质提升。

碱解氮含量反映出氮素的供应强度^[23]。在笔者的试验中,施入氮肥后土壤碱解氮含量高于或等于不施氮处理。各处理碱解氮含量均高于土壤初始值(110.56 mg·kg⁻¹),在同一氮肥水平下,施入钙肥后碱解氮含量无显著差异,说明氮肥施用有利于土壤碱解氮累积。土壤交换性钙多用于衡量有效钙水平,土壤中矿质元素间的相互作用会影响作物对养分的吸收^[24]。笔者的研究中施入钙肥降低了土壤pH,其原因可能与钙的离子交换吸附有关,这与高雅洁等^[25]的研究结果一致。施入土壤中的钙,大部分作为交换性离子被羧基吸附而释放出H⁺,从而增加了根际土壤的酸度,导致土壤pH值降低。

采取增施钙肥+减施氮肥的栽培措施,可达到增产增效效果,通过方程拟合钙、氮最佳施用量为:施氮量4.9 kg·667 m⁻²+施钙量30 g·667 m⁻²。所以在目前化肥减量的前提下,减少结球生菜氮肥投入后增施钙肥,是维持结球生菜高产和提高品质的重要保证。

参考文献

- [1] 朱兆良,金继运.保障我国粮食安全的肥料问题[J].植物营养与肥料学报,2013,19(2):259-273.
- [2] 刘瑜,赵凯丽,曲明山,等.连续4年基肥减量对生菜产量、品质和土壤养分的影响[J].中国土壤与肥料,2021(5):185-191.
- [3] 徐加林,别之龙,张盛林.不同氮素形态配比对生菜生长、品质和保护酶活性的影响[J].华中农业大学学报,2005,24(3):290-294.
- [4] 张国发,丁海燕,尤凤丽,等.不同氮肥处理对日光温室生菜产量、品质及土壤环境的影响[J].北方园艺,2015(9):147-150.
- [5] 郝小雨,高伟,王玉军,等.有机无机肥料配合施用对设施番茄产量、品质及土壤硝态氮淋失的影响[J].农业环境科学学报,2012,31(3):538-547.
- [6] 陆景陵.植物营养学[M].2版.北京:中国农业大学出版社,2004.
- [7] 任轶.植物营养中钙的功能及其在土壤改良中的作用[J].现代农业科技,2013(12):202.
- [8] 门中华,贾小环.钙在植物营养中的作用[J].阴山学刊(自然科学版),2006,20(4):38-40.
- [9] 张建华,卜玉山.氮钾钙配施对生菜生长的影响[J].山西农业大学学报(自然科学版),2007,27(S1):18-21.
- [10] 韩巍,赵金月,李豆豆,等.设施蔬菜大棚土壤氮磷钾养分富集降低土壤钙素的有效性[J].植物营养与肥料学报,2018,24(4):1019-1026.
- [11] 邹文桐,黄中胜,王昌伟.氮钙不同用量对烤烟农艺性状及干质量的影响[J].广东农业科学,2016,43(2):25-30.
- [12] 罗江宏,李杰,李娟,等.施氮水平和间断施氮对生菜生长和品质的影响[J].北方园艺,2022(11):23-30.
- [13] 王建国,张佳蕾,郭峰,等.钙与氮肥互作对花生干物质和氮素积累分配及产量的影响[J].作物学报,2021,47(9):1666-1679.
- [14] 刘宇曦,王娟娟,武隆楷,等.不同追氮量对日光温室樱桃番茄品质、生长和氮素利用效率的影响[J].中国蔬菜,2021(7):40-47.
- [15] 何鑫,张存政,刘贤金,等.外源硝酸钙对水培生菜生长及矿物质元素吸收的影响[J].核农学报,2016,30(12):2460-2466.
- [16] 周卫,林葆.植物钙素营养机理研究进展[J].土壤学进展,1995,23(2):12-17.
- [17] 刘文科,杨其长,邱志平.断氮处理对生菜中硝酸盐与维生素C含量的影响[J].华北农学报,2011,26(S1):114-116.
- [18] 邓芳.不同钙肥对几种蔬菜生长和品质效应的影响[D].武汉:华中农业大学,2015.
- [19] 王齐龙.减氮配施钙、镁、硼、钼对几种蔬菜产量和品质的影响[D].广东佛山:佛山科学技术学院,2020.
- [20] 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.
- [21] 赵跃,黄楠,刘继培,等.优化施肥对京郊地区设施生菜产量、品质及土壤速效养分的影响[J].中国瓜菜,2019,32(9):42-44.
- [22] 娄春荣,韩晓日,肖千明,等.氮和钙交互作用对番茄氮素吸收的影响[J].应用生态学报,2004,15(4):667-672.
- [23] 吴裕如.油菜秸秆还田和减量施氮对夏玉米产量和品质及土壤性质的影响研究[D].长沙:湖南农业大学,2020.
- [24] 周卫,林葆.土壤中钙的化学行为与生物有效性研究进展[J].中国土壤肥料,1996(5):19-22.
- [25] 高雅洁,王朝辉,王森,等.石灰性土壤施用氯化钙对冬小麦生长及钙锌吸收的影响[J].植物营养与肥料学报,2015,21(3):719-726.