

施氮对无土盆栽番茄生长、产量及品质的影响

张雨昕, 冯海萍

(宁夏农林科学院园艺研究所 银川 750002)

摘要: 为了探明氮素对番茄生长指标以及产量品质的影响, 采用盆栽试验, 设置 5 个氮素水平处理, 分别为 CK(施氮 $0 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$)、N1(施氮 $2.5 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$)、N2(施氮 $5.0 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$)、N3(施氮 $7.5 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$)、N4(施氮 $10 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$), 利用随机区组设计, 以不施氮作为对照, 分析枸杞枝条基质下不同施氮量对番茄生长指标、品质和产量的影响。结果表明, 与 CK 相比, 各施氮处理均不同程度地提高了番茄的植株高度、叶绿素含量和果实产量, 在 N3 处理下, 番茄在不同穗果期的产量均达到最大值, 较 CK 分别增加了 48.47%、30.00%、125.66% 和 46.41%。施氮也会显著增加果实总酸、可溶性糖、可溶性固形物和维生素 C 含量, 但会抑制番茄红素含量。在氮肥施用量达到一定水平后, 番茄相关指标的增幅逐渐减小, 甚至下降。因此, 适量施氮可促进番茄的生长发育, 过量施氮会导致番茄营养生长过盛, 抑制植株生殖生长, 导致番茄产量降低, 其中 N3(施氮 $7.5 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$) 为最佳处理。

关键词: 番茄; 无土盆栽; 氮肥; 枸杞枝条基质; 生长; 产量; 品质

中图分类号: S641.2

文献标志码: A

文章编号: 1673-2871(2024)12-121-05

Effects of nitrogen application on growth, yield and quality of tomato with culture in pot

ZHANG Yuxin, FENG Haiping

(Institute of Horticulture, Ningxia Academy of Agriculture and Forestry Science, Yinchuan 750002, Ningxia, China)

Abstract: In order to investigate the effects of nitrogen on growth indices as well as yield quality of tomato, a pot experiment was used to analyse the effects of different nitrogen application rates on growth indexes, quality and yield of tomato under the substrate of *Lycium barbarum* branches. In this experiment, five nitrogen level treatments were set up through wolfberry branch substrate cultivation, namely CK (applying nitrogen $0 \text{ g} \cdot \text{plant}^{-1}$), N1 (applying nitrogen $2.5 \text{ g} \cdot \text{plant}^{-1}$), N2 (applying nitrogen $5.0 \text{ g} \cdot \text{plant}^{-1}$), N3 (applying nitrogen $7.5 \text{ g} \cdot \text{plant}^{-1}$) and N4 (applying nitrogen $10 \text{ g} \cdot \text{plant}^{-1}$). CK without N application was used as a control in a randomised block design, while it was sampled for the determination of relevant indexes. The results showed that compared with the CK, all the N application treatments increased the plant height. Under N3 treatment, the yield of tomato reached the maximum at different ear and fruit stages, which increased by 48.47%, 30.00%, 125.66% and 46.41%, respectively, compared with CK. Nitrogen application also significantly increased total acid, soluble sugar, soluble solids and vitamin C content in tomato, but suppressed lycopene content. However, after the amount of nitrogen fertilizer reached a certain level, the increase of tomato-related indexes gradually decreased, and even decreased. Therefore, proper nitrogen application can promote the growth and development of tomato, while excessive nitrogen application will lead to excessive vegetative growth of tomato, inhibit plant reproductive growth and reduce tomato yield, among which N3 (nitrogen application of $7.5 \text{ g} \cdot \text{plant}^{-1}$) is the best treatment.

Key words: Tomato; Culture in pot; Nitrogen fertilizer; Wolfberry branch substrate; Growth; Yield; Quality

番茄是茄果类蔬菜的代表, 具有非常高的营养价值和经济价值, 在我国各地普遍种植。近年来, 我国番茄总产量位居世界第一, 番茄产业的发展对我国农民增收和农业增效具有重要意义^[1]。在番茄栽培过程中适当施肥有助于生长发育, 但长期以来

滥施化肥的现象仍普遍存在^[2], 不仅造成肥料利用率降低, 环境污染严重等问题^[3], 还对番茄的品质和产量造成严重的负面影响, 进而影响了番茄产业的经济效益^[4]。近年来, 我国越来越重视肥料对土壤和环境的影响, 如何精准施肥已成为当前蔬菜生产

收稿日期: 2024-02-21; 修回日期: 2024-09-15

基金项目: 国家自然科学基金(32160706); 宁夏自然科学基金(2022AAC03443)

作者简介: 张雨昕, 女, 硕士, 主要研究方向为蔬菜栽培。E-mail: 375271804@qq.com

通信作者: 冯海萍, 女, 研究员, 主要研究方向为蔬菜栽培。E-mail: fenghaiping2005@163.com

面临的关键问题^[5]。

氮是组成蛋白质的重要元素,是植物生长发育的必需元素之一^[6]。氮肥是蔬菜生长所需氮素的重要来源,合理的氮肥施用是蔬菜获得较高目标产量的关键措施。氮肥具有促进植物营养生长及提高光能利用率、生物总量和经济产量等作用^[7],但氮肥施用过量或不当,会导致植株徒长,影响果实的品质和产量^[8],因此合理施用氮肥可以有效改善作物的生长性状,从而提高蔬菜的产量和品质,在保证番茄高产优质的前提下,降低环境污染风险对我国蔬菜生产的可持续发展具有十分重要的意义。大量研究表明,氮肥的施用对番茄的生长性状和产量品质有着重要的影响。毕晓庆等^[9]研究表明,施用氮肥可以显著影响温室番茄的产量,随着氮肥施用量增加产量显著提升,当施氮量为 $360\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 时番茄产量达到最大值,施氮量为 $450\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 时品质达到最佳。谢安坤等^[10]研究表明,氮肥的施用量对番茄可溶性糖与维生素C含量均有一定影响。目前,已有大量研究对番茄在施氮条件下的产量和品质进行分析,但前人有关番茄的肥料施用研究多数集中于大田生产^[11-13],关于盆栽使用无土栽培基质培育番茄过程中氮肥适宜施用量的研究则鲜见报道。因此,笔者通过盆栽的方式,采用粉碎后的枸杞枝条作为栽培基质,探讨不同施氮量对番茄的株高、茎粗、叶绿素含量、品质及果实产量的影响,以期对枸杞枝条基质栽培条件下番茄的合理种植和产量的提高提供科学依据。

1 材料与方 法

1.1 材 料

供试番茄品种为塞纳,购自宁夏天缘种业有限公司。试验采用盆栽方式,所用塑料盆统一规格:上口径 26 cm ,底径 17 cm ,高 30 cm ,底部具有透气孔。试验以尿素为氮肥来源,供试标记尿素来源于上海化工研究院,¹⁵N丰度为 10.14% 。试验采用发酵后的枸杞枝条作基质,选择以自主研发的枸杞枝条发酵料与纯草炭、蛭石体积比为 $5:3:2$ 或 $6:2:2$ 作为番茄栽培的基质^[14],此配比保证了枸杞枝条基质腐熟后的肥力和持水保水能力,提高设施番茄种植的产量和品质。番茄移栽前基质理化性质为:pH值为 6.52 ,全氮、硝态氮、铵态氮、有效磷、速效钾含量(w,下同)分别为 $1.6\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、 $37\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、 $72\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、 $820\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、 $2200\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

1.2 试验设计

试验于2022年8月在宁夏银川市贺兰产业园的日光温室内进行,试验大棚为钢管塑料大棚。选用50孔穴盘育苗,在幼苗苗龄 $25\sim 30\text{ d}$ 、长出 $4\sim 5$ 片真叶时优选茎秆粗壮的幼苗定植,每盆定植1株。试验采用随机区组设计,设置¹⁵N标记氮素水平5个处理,分别为CK(施氮 $0\text{ g}\cdot\text{株}^{-1}$)、N1(施氮 $2.5\text{ g}\cdot\text{株}^{-1}$)、N2(施氮 $5.0\text{ g}\cdot\text{株}^{-1}$)、N3(施氮 $7.5\text{ g}\cdot\text{株}^{-1}$)、N4(施氮 $10\text{ g}\cdot\text{株}^{-1}$),每个处理设置3次重复。每5盆为1个小区,小区随机排列,各小区间设隔离行,栽培管理按常规方式。以不添加氮肥为CK,各处理间除追施的氮肥用量不同外,其他矿物质养分的用量完全相同。试验中所有处理施入的磷肥和钾肥量一致,磷肥 $10\text{ g}\cdot\text{株}^{-1}$,钾肥 $15\text{ g}\cdot\text{株}^{-1}$,磷肥为过磷酸钙(P_2O_5 ,含量 46%)和磷酸一铵,钾肥为硫酸钾(K_2O ,含量 50%)。其中,磷 50% 做基肥,钾肥及氮肥分别于基肥和定植后 15 、 30 、 45 、 60 、 75 、 90 、 105 d 以冲施的形式分8次施入,施用量每次均为总施肥量的 $1/8$,其他管理与常规生产一致。

1.3 测定内容及方法

1.3.1 样品采集 番茄生长期间每株打顶共留取4穗果,在番茄第1穗果(2022年11月23日)、第2穗果(2022年12月16日)、第3穗果(2023年1月9日)期和第4穗果(2023年2月2日)成熟时分别采收。

1.3.2 生长指标及品质测定 在每个处理中选择长势整齐一致的3株番茄,于定植后 5 、 30 、 60 d 分别测定植株株高、茎粗和相对叶绿素含量(SPAD值)。其中,株高使用卷尺测量自地面到植株最高处的高度,茎粗用游标卡尺自地面向上 2 cm 处测量植株直径,相对叶绿素含量用便携式SPAD-502叶绿素仪测定。将各处理番茄不同穗成熟果实采收后,从每个处理中随机选取 $3\sim 4$ 个番茄用电子秤(精度为 0.01 g)称量并记录,最后每个处理计算平均值作为番茄单株穗果产量。

取番茄可食部分,每个处理设3次重复,分别研磨成匀浆,进行品质测定。采用 $2,6$ -二氯酚靛酚法测定维生素C含量,采用酸碱滴定法测定总酸含量,采用蒽酮比色法测定可溶性糖含量,采用紫外分光光度法测定番茄红素含量,采用手持折光仪测定可溶性固形物含量^[15]。

1.4 数据分析

试验所得数据采用SPSS 18.0进行差异显著性分析,不同处理间的多重比较使用Duncan's新复

极差法。

2 结果与分析

2.1 不同施氮量对番茄生长指标的影响

由表 1 可知,定植后不同时期施氮处理的番茄株高均高于 CK,且每个时期 N3 处理后的番茄株高均显著高于 CK,分别增加了 20.33%、12.88%和 14.76%。施用氮肥对番茄茎粗的影响没有对株高的明显,在定植后同一时期番茄的茎粗随着施氮量的增加呈现先增后减的趋势,均在 N3 处理时达到最大值,且均显著高于 CK,N3 处理在 3 个时期分别比 CK 增加了 13.19%、12.22%和 21.58%。说明 N3 处理可以促进番茄生长,增加番茄的株高和茎

表 1 不同施氮量对番茄生长指标的影响

生理指标 Physical index	处理 Treatment	定植后时间 Days after colonization/d		
		5	30	60
株高 Plant height/ cm	CK	75.00±2.04 b	124.25±3.01 b	150.75±2.17 c
	N1	95.00±2.12 a	138.75±3.86 a	167.75±5.11 ab
	N2	88.50±5.14 a	138.00±3.08 a	154.75±5.57 bc
	N3	90.25±0.85 a	140.25±3.64 a	173.00±6.18 a
	N4	89.00±2.74 a	131.00±4.95 ab	181.75±1.80 a
茎粗 Stem diameter/ mm	CK	9.25±0.59 b	9.98±0.18 b	9.36±0.12 b
	N1	9.88±0.22 ab	10.25±0.36 b	11.12±0.52 a
	N2	9.99±0.24 ab	10.36±0.21 b	11.07±0.17 a
	N3	10.47±0.24 a	11.20±0.22 a	11.38±0.29 a
	N4	9.16±0.18 b	9.67±0.10 b	11.09±0.39 a
SPAD	CK	54.99±0.88 a	46.05±1.51 b	29.68±1.49 d
	N1	48.11±1.57 b	53.28±1.45 a	34.28±0.27 c
	N2	54.98±1.72 a	49.50±1.38 ab	37.03±0.38 b
	N3	51.93±0.90 ab	48.68±1.30 b	38.88±0.25 ab
	N4	51.54±2.67 ab	46.48±1.08 b	40.68±0.41 a

注:相同生理指标同列数字后不同小写字母表示各处理之间在 0.05 水平差异显著。下同。

Note: Different small letters in the same column with same index indicate significant difference among different treatment at 0.05 level. The same below.

表 2 不同施氮量对单株番茄产量的影响

处理 Treatment	不同采收时期产量 Yields at different harvest times/g			
	第一穗果 First spike fruit	第二穗果 Second spike fruit	第三穗果 Third spike fruit	第四穗果 Fourth spike fruit
CK	313.13±35.69 b	323.50±9.36 cd	194.95±5.28 c	144.90±10.71 b
N1	384.08±32.16 ab	345.00±11.47 c	288.75±16.43 b	142.83±4.58 b
N2	363.98±41.88 ab	371.20±7.41 b	320.33±8.51 b	153.95±10.52 b
N3	464.90±24.84 a	420.55±6.70 a	439.93±26.66 a	212.15±14.49 a
N4	438.83±21.49 a	304.05±4.98 d	310.10±7.13 b	162.85±2.50 b

粗。叶绿素含量的高低是反映植物叶片光合作用的重要指标,从表中可以看出,随着定植时间的延长,番茄的 SPAD 值只有 N1 呈现先升后降趋势,在 30 d 时达最大值,其他各施氮处理呈降低趋势,均在 5 d 达最大值;随施氮量的增加,SPAD 值在定植后 30 d 呈先升后降趋势,在定植后 5 d 呈降-升-降趋势,在定植后 60 d 呈上升趋势,表明施用氮肥可以提高定植后期番茄体内的叶绿素含量。

2.2 不同施氮量对番茄产量的影响

由表 2 可知,不同穗果期番茄的产量会发生变化,从整体来看,番茄在第一穗果和第二穗果期产量较高,所有穗果期的番茄产量均在 N3 处理时达到最大值,较 CK 分别增加了 48.47%、30.00%、125.66%和 46.41%。通过番茄不同穗果的平均产量与施氮量拟合得到的二次方程函数为 $y = -2.09279x^2 + 29.48361x + 236.05768$,二者呈极显著相关 ($R^2 = 0.3619$),通过模拟方程计算得到,番茄最高产量为 $339.90 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$,当施氮量为 $0 \sim 7.04 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$ 时,产量属于显著增加阶段,当施氮量超过 $7.04 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$ 时,产量开始显著下降。证明施氮可以增加番茄的产量,但过量施氮会抑制番茄生长,在 N3 处理时产量达到最大值。

2.3 不同施氮量对番茄品质的影响

由表 3 可知,当施氮量超过 N2 处理时,番茄的总酸含量、可溶性糖含量及可溶性固形物含量较 N2 处理均呈上升趋势,N2、N3、N4 可溶性糖含量均呈显著差异,N2、N3 的总酸、可溶性固形物含量均无显著差异,在 N4 处理时均达到最大值,较 CK 的总酸含量显著增加 22.05%,可溶性糖含量显著增加 34.99%,可溶性固形物含量显著增加 45.00%。施氮处理的果实番茄红素含量均显著低于 CK。施氮处理的果实维生素 C 含量均显著高于 CK,且随施氮量的增加,呈现升-降-升的趋势,在 N1 处理时维生素 C 含量达到最大值,较 CK 增加了 31.58%。由此可知,与 CK 相比,施氮肥达到一定水平会显著增加

表3 不同施氮量对番茄果实品质的影响

Table 3 Effects of different nitrogen application rates on tomato fruit quality

处理 Treatment	w(维生素 C) Vitamin C content/ (mg·100 g ⁻¹)	w(总酸) Total acid content/ (g·kg ⁻¹)	w(可溶性糖) Soluble sugar content/%	w(可溶性固形物) Soluble solids content/%	w(番茄红素) Lycopene content/ (mg·100 g ⁻¹)
CK	19.00±0.01 e	5.26±0.00 c	3.43±0.01 c	6.00±0.20 d	17.36±0.92 a
N1	25.00±0.02 a	4.05±0.55 d	3.41±0.06 c	6.40±0.20 cd	11.26±0.38 b
N2	21.00±0.00 d	5.32±0.55 bc	3.47±0.09 c	6.90±0.20 bc	11.51±0.07 b
N3	23.00±0.01 c	5.48±0.55 b	3.86±0.01 b	7.20±0.20 b	9.51±0.42 bc
N4	24.50±0.03 b	6.42±0.55 a	4.63±0.02 a	8.70±0.21 a	8.92±0.70 c

番茄果实内总酸、可溶性糖、可溶性固形物和维生素 C 含量,但显著抑制了番茄红素含量。

3 讨论与结论

株高和茎粗作为植物的生理形态指标,在植物特定的生长期能够准确体现出植物的生长状况和营养吸收情况^[16]。氮肥具有促进营养生长、增加叶绿素含量、提高光能利用率、提高生物总量和经济产量的作用,缺氮会直接影响植株的营养生长,导致作物出现矮小瘦弱、根茎生长缓慢、叶片薄小、叶色缺绿发黄无光泽、同化能力下降等现象^[17]。Xiao 等^[18]研究表明,在番茄快速生育期内,施用氮肥能够显著提高番茄株高和叶片的平均生长速率。孟思达等^[19]研究表明,在长期连作土壤中施入石灰氮后,番茄植株的株高、茎粗、全株干质量等均显著增加,设施番茄连作障碍得到明显改善。本研究中 CK 处理的番茄株高均低于其他处理,茎叶等营养器官也发育不良,定植后 30 d 植株的株高和茎粗随着氮肥施用量的增加呈先增大后减小的趋势,均在 N3 处理下达到最大值,这与孟思达等^[19]、景博等^[20]研究中番茄的株高和茎粗随着氮肥施用量的增加呈先增大后减小的趋势相同。表明与不施用氮肥相比,施用一定量的氮肥可以显著促进番茄的生理生长,但当施用量超过 N3 处理后,氮肥对番茄生长发育的促进作用逐渐减弱,甚至出现抑制生长的现象。这可能是因为过量的氮肥导致土壤中的氮素浓度过高,影响了植株对其他营养元素的吸收,进而营养失衡^[21]。植物的茎部是传送水分和养分的重要载体,有进行光合作用和储藏植物营养物质的作用^[22],因此会对植株的叶绿素含量产生一定影响。王靖荃等^[23]研究表明,在适宜浓度范围内,氮浓度的增加有利于叶绿素含量的增加,但过量的氮肥处理有可能抑制植株的生长发育,造成叶绿素含量减少。本试验中 CK 处理下番茄叶绿素含量最低,

这可能与其茎粗较小有一定关系。

产量是菜农最关注的问题之一,也是番茄经济效益最直观体现。魏斌等^[24]研究表明,当施氮强度达到一定肥效阈值后,番茄果实产量提高率下降,甚至造成产量下降。徐健等^[25]研究表明,随着施氮量的增加,番茄单株果实数量、单果质量和果实纵横径等指标均会呈现先升高后降低的趋势。在本研究中,随着施氮量的升高,番茄第二和第三穗果的产量呈现先升高后降低的趋势,在 N3 处理下,不同穗果的产量均达到最大值,当氮肥施用量超过 N3 后,番茄产量下降。梁永贤等^[26]研究表明,过量施用氮肥会导致植株生长过旺,对产量的贡献有限,作物的产量不会随土壤供氮量的增加而持续增加,当土壤供氮量过高时会导致植株积累过量的硝酸盐和亚硝酸盐等物质^[27],这不仅会提高病虫害的发生率,也会导致植物在营养生长阶段疯长,不利于养分向果实转移^[28],从而造成作物减产。

果实品质是番茄作为经济作物的重要指标,将直接影响番茄的经济价值^[29]。曾博玲等^[30]研究表明,樱桃番茄品质指标随施氮量的增加显著提高,但过量施用氮肥会降低番茄品质。张晓鹏等^[31]研究表明,氮肥用量的增加能够延缓番茄品质下降。本试验中不同施氮量对番茄品质指标均有一定影响,当施肥量超过 N2 处理时,番茄的总酸、可溶性糖和可溶性固形物含量较 N2 处理均呈现上升趋势,在 N4 处理时均达到最大值,这与张乐等^[32]的研究中番茄可溶性糖和可溶性固形物含量均随着施氮量的提高呈现升高的趋势相同。而施氮处理的果实番茄红素含量均显著低于 CK 处理。由此可知,较 CK 处理而言,施肥可以改善番茄品质,适量施用氮肥可以增加果实总酸、维生素 C 和可溶性糖含量,但抑制了番茄红素含量,这与高志英等^[33]在设施秋冬茬番茄上的研究结果一致。

综上所述,本研究中 N3 处理(施氮 7.5 g·株⁻¹)

番茄的株高、茎粗和产量均达到最大值,同时可以提高果实品质,表明适量施氮可以促进番茄生长。但过量施氮会导致番茄营养生长过盛,抑制其生殖生长,使得施肥对番茄果实产量的提高作用下降,同时影响了番茄品质。因此,在番茄生产和管理中,适量施用氮肥有助于植株快速生长和发育,同时提高番茄的产量和品质,以实现高产、高效、环保的番茄种植目标。

参考文献

- [1] 王同林,叶红霞,郑积荣,等. 番茄果实中主要风味物质研究进展[J]. 浙江农业学报, 2020, 32(8): 1513-1522.
- [2] 胡超,李平,樊向阳,等. 减量追氮对再生水灌溉设施番茄产量及品质的影响[J]. 灌溉排水学报, 2013, 32(5): 104-106.
- [3] 牛晓丽,胡田田,周振江,等. 水肥供应对番茄产量和水分利用效率的影响[J]. 节水灌溉, 2014(2): 17-21.
- [4] GONZALEZ-PEREZ J E, GUERRERO-BELTRAN J N. Tomatillo or husk tomato (*Physalis philadelphica* and *Physalis ixocarpa*): A review[J]. *Scientia Horticulturae*, 2021, 288: 110306.
- [5] 聂大杭,陈蕾蕾,刘淑艳,等. 不同氮肥、有机肥用量对比对番茄产量及养分分布的影响[J]. 中国农学通报, 2022, 38(21): 32-35.
- [6] LASSALETTA L, BILLEN G, GARNIER J, et al. Nitrogen use in the global food system: Past trends and future trajectories of agronomic performance, pollution, trade, and dietary demand[J]. *Environmental Research Letters*, 2016, 11(9): 095007.
- [7] 石元亮,王玲莉,刘世彬,等. 中国化学肥料发展及其对农业的作用[J]. 土壤学报, 2008, 45(5): 852-864.
- [8] 付晓燕,江大勇,李微微,等. 林木营养诊断以及氮元素对林木的作用[J]. 林业科技情报, 2022, 54(2): 109-111.
- [9] 毕晓庆,山楠,杜连凤,等. 氮肥用量对设施滴灌栽培番茄产量品质及土壤硝态氮累积的影响[J]. 农业环境科学学报, 2013, 32(11): 2246-2250.
- [10] 谢安坤,李志宏,张云贵,等. 不同施氮水平对番茄产量、品质及土壤剖面硝态氮的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2011(1): 26-29.
- [11] 韩佳芮,吴文婧,陈翀,等. 灌水量和施氮量对番茄产量、品质和氮肥利用率的影响[J]. 江苏农业科学, 2020, 48(19): 145-151.
- [12] 陈震,高俊杰,刘中良,等. 施氮量对日光温室番茄开花坐果期光合和根系特性及土壤酶活性的影响[J]. 中国蔬菜, 2024(7): 71-78.
- [13] 李欢欢,宋嘉雯,孙景生,等. 不同水氮供应对温室番茄各穗层果实养分和产量构成的影响[J]. 灌溉排水学报, 2023, 42(6): 1-9.
- [14] 冯海萍,杨冬艳,谢华,等. 设施番茄栽培基质中枸杞枝条发酵料的适宜配比研究[J]. 宁夏农林科技, 2021, 62(8): 48-51.
- [15] ZHENG J, PAN Z P, MA J, et al. Animal based biogas digestate application frequency effects on growth and water-nitrogen use efficiency in tomato[J]. *International Journal of Agriculture and Biology*, 2019, 22(4): 748-756.
- [16] 艾尼瓦尔·吾买尔,支金虎. 施氮对加工番茄生长、养分吸收及不同器官养分分配的影响[J]. 塔里木大学学报, 2018, 30(2): 24-30.
- [17] 王美琪,李秀秀,邢金金,等. 不同施肥水平对陕北地区温室大棚番茄株高和径粗的影响[J]. 延安大学学报(自然科学版), 2017, 36(4): 59-62.
- [18] XIAO Z Y, LEI H J, JIN C C, et al. Relationship between the dynamic characteristics of tomato plant height and leaf area index with yield, under aerated drip irrigation and nitrogen application in greenhouses[J]. *Agronomy*, 2023, 13(1): 116.
- [19] 孟思达,孙周平,刘玉凤,等. 石灰氮对日光温室连作番茄生长、产量和品质的影响[J]. 长江大学学报(自然科学版), 2022, 19(6): 85-93.
- [20] 景博,牛宁,张文龙,等. 不同施氮量对加工番茄生长及土壤氮素平衡的影响[J]. 新疆农业科学, 2020, 57(10): 1830-1838.
- [21] 袁福敏. 氮肥施用量和种植密度对油菜产量及经济效益的影响[J]. 特种经济动植物, 2023, 26(1): 19-21.
- [22] 韩小平,左月明,刘洋. 番茄叶片叶绿素吸光度与施氮水平相关性研究[J]. 山西农业大学学报(自然科学版), 2012, 32(2): 128-131.
- [23] 王靖茎,谷端银,于晓东,等. 沼液部分替代化肥在日光温室秋番茄上的应用效果[J]. 应用生态学报, 2019, 30(1): 243-250.
- [24] 魏斌,李友明,翟广生,等. 氮肥对番茄营养功能特征及果实产量的影响[J]. 北方园艺, 2015(9): 158-163.
- [25] 徐健,张小华,应学兵,等. 不同氮肥用量对番茄生长及植株养分含量的影响[J]. 长江蔬菜, 2017(8): 66-68.
- [26] 梁永贤,魏廷邦. 氮肥用量与种植密度互作对旱作区玉米光合特性及产量的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2022(10): 147-155.
- [27] 张北赢,陈天林,王兵. 长期施用化肥对土壤质量的影响[J]. 中国农学通报, 2010, 26(11): 182-187.
- [28] 苏建党. 探讨过量施用化肥的危害及应对措施[J]. 农业与技术, 2016, 36(6): 49.
- [29] 张延平,温祥珍,李亚灵,等. 水氮耦合对日光温室番茄干物质生产与分配的影响[J]. 华北农学报, 2018, 33(2): 215-223.
- [30] 曾博玲,孙权,刘喆,等. 不同施氮量对樱桃番茄生长、品质和氮素积累量的影响[J]. 江苏农业科学, 2024, 52(1): 148-154.
- [31] 张晓鹏,王瑞. 不同氮肥用量及施氮方式对番茄产量和品质与土壤中氮磷迁移的影响[J]. 中国农技推广, 2022, 38(12): 64-68.
- [32] 张乐,王庆芬,宋振启,等. 氮钾肥施用量对番茄品质的影响[J]. 中国果菜, 2024, 44(7): 49-53.
- [33] 高志英,陈梅,樊蕾,等. 不同氮肥用量下设施秋冬茬番茄干物质及氮素的积累动态[J]. 山西农业大学学报(自然科学版), 2019, 39(6): 62-70.