

DOI: 10.13758/j.cnki.tr.2024.05.004

米春娇, 孙洪仁, 张吉萍, 等. 中国番茄土壤氮素丰缺指标和推荐施氮量研究. 土壤, 2024, 56(5): 948–953.

中国番茄土壤氮素丰缺指标和推荐施氮量研究^①

米春娇¹, 孙洪仁^{1*}, 张吉萍², 王尚波³, 张砚迪⁴

(1 中国农业大学草业科学与技术学院, 北京 100193; 2 六凯新农(北京)科技有限公司, 北京 100094; 3 山东良土生物科技有限公司, 山东齐河 251100; 4 北京中研益农种苗科技有限公司, 北京 100070)

摘要: 为了给中国番茄测土施氮提供有效参考, 使用“零散试验数据整合法”和“养分平衡-地力差减法新应用公式”, 进行中国番茄土壤氮素丰缺指标与推荐施氮量研究。结果表明: 中国番茄土壤碱解氮第 1~7 级丰缺指标依次为: ≥ 303.1 、189.5~303.1、118.5~189.5、74.1~118.5、46.3~74.1、29.0~46.3 和 < 29.0 mg/kg; 土壤全氮第 1~7 级丰缺指标依次为: ≥ 3.0 、2.0~3.0、1.3~2.0、0.8~1.3、0.6~0.8、0.4~0.6 和 < 0.4 g/kg; 土壤有机质第 1~6 级丰缺指标依次为: ≥ 77.3 、36.6~77.3、17.4~36.6、8.2~17.4、3.9~8.2 和 < 3.9 g/kg, 其中, 露地番茄土壤有机质第 1~7 级丰缺指标依次为: ≥ 55.3 、32.8~55.3、19.4~32.8、11.5~19.4、6.8~11.5、4.1~6.8 和 < 4.1 g/kg, 设施番茄土壤有机质第 1~4 级丰缺指标依次为: ≥ 43.4 、14.6~43.4、4.9~14.6 和 < 4.9 g/kg。当氮肥当季利用率为 40%、番茄目标产量为 120 t/hm² 时, 土壤氮素丰缺级别第 1~7 级的推荐施氮量依次为 0、81、162、243、324、405 和 486 kg/hm²。

关键词: 番茄; 测土施肥; 土壤养分; 氮素; 丰缺指标; 施肥量

中图分类号: S641.2 文献标志码: A

Study on Abundance-deficiency Index of Soil Nitrogen and Recommended Nitrogen Fertilizer Application Rates for Tomato in China

MI Chunjiao¹, SUN Hongren^{1*}, ZHANG Jiping², WANG Shangbo³, ZHANG Yandi⁴

(1 College of Grassland Science and Technology, China Agricultural University, Beijing 100193, China; 2 Liukai Xinnong (Beijing) Technology Co., Ltd., Beijing 100094, China; 3 Shandong Reto-Life Biotechnologies Co., Ltd., Qihe, Shandong 251100, China; 4 Beijing Zhongyan Yinong Seedling Technology Co., Ltd., Beijing 100070, China)

Abstract: In order to provide a theoretical basis for nitrogen (N) application in tomato soil testing, the abundance-deficiency index (ADI) of soil N and the recommended N fertilizer application rate (RN FAR) for tomatoes in China were established by using the method of integrating piecemeal experiment data and the new application formula of nutrient balance-soil fertility difference subtraction. The results showed that ADIs of soil alkaline hydrolysis N for tomatoes in China from the 1st to 7th levels were ≥ 303.1 , 189.5–303.1, 118.5–189.5, 74.1–118.5, 46.3–74.1, 29.0–46.3 and < 29.0 mg/kg, respectively; ADIs of soil total N for tomatoes in China from the 1st to 7th levels were ≥ 3.0 , 2.0–3.0, 1.3–2.0, 0.8–1.3, 0.6–0.8, 0.4–0.6 and < 0.4 g/kg, respectively; ADIs of soil organic matter (all fields) for tomatoes in China from the 1st to 6th levels were ≥ 77.3 , 36.6–77.3, 17.4–36.6, 8.2–17.4, 3.9–8.2 and < 3.9 g/kg, respectively; ADIs of soil organic matter (open fields) for tomatoes in China from the 1st to 7th levels were ≥ 55.3 , 32.8–55.3, 19.4–32.8, 11.5–19.4, 6.8–11.5, 4.1–6.8 and < 4.1 g/kg, respectively; ADIs of soil organic matter (facility fields) for tomato planting in China from the 1st to 4th levels were ≥ 43.4 , 14.6–43.4, 4.9–14.6 and < 4.9 g/kg, respectively. When N fertilizer use efficiency was 40% in tomato season and projected tomato yield was 120 t/hm², RN FAR from the 1st to 7th levels of soil N abundance-deficiency were 0, 81, 162, 243, 324, 405 and 486 kg/hm², respectively.

Key words: Tomato; Soil testing and fertilizer recommendation; Soil nutrient; Nitrogen; Abundance-deficiency index; Fertilizer application rate

①基金项目: 国家现代农业产业技术体系项目(CARS-35)资助。

* 通讯作者(sunhongren@cau.edu.cn)

作者简介: 米春娇(2001—), 女, 内蒙古呼伦贝尔人, 硕士研究生, 主要从事牧草与作物施肥管理以及种子生理与生产研究。E-mail: mcj@cau.edu.cn

番茄是我国种植的主要蔬菜种类之一。2020年,我国番茄种植面积逾110万 hm^2 ,产量近6500万t,全球占比分别为22.0%和34.7%^[1]。番茄种植已成为我国农民增收致富的重要产业。肥料对作物的生长至关重要,合理施肥能有效提升作物产量和质量,进而增加效益。而当施肥量超出一定合理范围后,不反会影响作物生长,还会对土壤、空气和水资源等生态环境造成污染,危害人类身体健康。为提高蔬菜产量,通常施用大量氮肥,但氮肥利用率较低,大量的氮素损失给环境造成了负担^[2]。因此,合理有效地把作物施肥量对作物生产有着重要作用。肥料效应函数法、养分平衡-地力差减法、养分平衡-土壤有效养分校正系数法和土壤养分丰缺指标法等方法确定施肥量的主要手段。其中,土壤养分丰缺指标法是测土推荐施肥的经典和通用方法,它具有时间有效性长、地域有效性广且简便易行等优势,故得以在世界各地广泛应用。我国于20世纪80年代开始进行作物土壤养分丰缺指标的研究^[3-4],目前已建立了诸如水稻、小麦、玉米、甘薯等作物的若干地区土壤养分丰缺指标推荐施肥系统^[5-13],但针对番茄的相关研究仍较少。20世纪80年代,武书敏等^[14]率先开展了北京露地番茄土壤养分丰缺指标研究。21世纪以来,吴建繁^[15]对北京设施番茄土壤有效磷丰缺指标推荐施肥系统进行了探索;张连云^[16]研究了内蒙古五原县番茄土壤养分丰缺指标;康翠娥等^[17]建立了内蒙古包头九原区番茄土壤氮、磷、钾丰缺指标推荐施肥系统;刘顺国等^[18]开展了辽宁设施番茄土壤养分丰缺指标研究。截至目前,我国番茄土壤养分丰缺指标推荐施肥系统研究仍有不足,不仅开展研究较少、涉及范围不够全面,而且有些研究没有确定适宜施肥量^[14, 16, 18]。作物土壤养分丰缺指标推荐施肥系统的研究需要开展多年、多点田间试验,故需要足够的人力、物力和财力作为保障,而番茄等诸多小作物的相关科研投入普遍较少,因此,土壤养分丰缺指标推荐施肥系统的研究仍有许多问题有待解决。为解决上述困难,中国农业大学孙洪仁研究团队将“零散试验数据整合法”和“养分平衡-地力差减法新应用公式”综合起来,创建了作物土壤养分丰缺指标推荐施肥系统研究新方法,而且以此为基础,成功建立了我国紫花苜蓿、燕麦、甜菜、甘蔗、籽实与饲草谷子土壤养分丰缺指标推荐施肥系统^[19-26]。本研究拟采用作物土壤养分丰缺指标推荐施肥系统研究新方法,进行全国番茄土壤氮素丰缺指标和推荐施氮量研究,为我国番茄测土施氮提供有效参考。

1 材料与方法

1.1 我国番茄土壤氮素回归方程与丰缺指标

在数据库中检索我国开展的番茄施肥试验文献,选择含有土壤氮素含量、缺氮处理产量及施氮处理产量的文献,并提取上述数据。利用公式(1)计算番茄缺氮处理相对产量。

$$R_N = Y_N / Y_N \quad (1)$$

式中: R_N 为缺氮处理相对产量; Y_N 为缺氮处理产量; Y_N 为施氮处理产量。

利用Excel 2016,选择适宜模型建立番茄缺氮处理相对产量与土壤氮素含量回归方程。参考“测土施肥土壤养分丰缺分级改良方案”^[27],对氮素进行丰缺级别的划分。对于超出缺氮处理相对产量和土壤氮素含量试验范围的外推数据,低端和高端分别允许保留1个。

1.2 我国番茄推荐施氮量

根据“养分平衡-地力差减法新应用公式”(公式(2))^[28-29],确定每个丰缺级别土壤的番茄推荐施氮量。

$$F_N = A_N \times (1 - R_N) / E_N \quad (2)$$

式中: F_N 为适宜施氮量; A_N 为目标产量番茄氮素移出量; R_N 为缺氮处理相对产量; E_N 为氮肥当季利用率。

单位经济产量番茄氮素(N)移出量确定为2.7 kg/t ^[30]。根据我国番茄生产实际状况,确定番茄目标产量11个,分别为45、60、75、90、105、120、135、150、165、180和195 t/hm^2 。每个丰缺级别的番茄缺氮处理相对产量下限作为该级别的缺氮处理相对产量,第1级为100%,第二级为90%,第3级为80%,……,第11级为0%。设置3个番茄氮肥当季利用率,分别为30%、40%和50%。

2 结果与分析

2.1 我国番茄施氮试验与土壤氮素丰缺指标研究相关信息

选取我国开展的含有土壤氮素(碱解氮、全氮和有机质)含量、缺氮处理产量和施氮处理产量的番茄施氮试验文献共154篇(1986—1989年2篇,1990—1999年5篇,2000—2009年32篇,2010—2022年115篇)。所选文献涉及25个省份/自治区/直辖市,土壤pH范围为5.3~8.9,土壤碱解氮、全氮和有机质含量范围依次为42.6~297.8 mg/kg 、0.5~2.7 g/kg 和5.0~42.3 g/kg ,施氮处理的施氮量范围为17~2400 kg/hm^2 。从上述文献中提取土壤氮素含量、缺氮处理产量和施氮处理产量数据280组,进而得到土壤氮素含量与缺氮处理相对产量配套数据280对,其

中露地 125 对, 设施 155 对。此外, 土壤碱解氮、全氮和有机质含量与番茄缺氮处理相对产量的配套数据分别为 192 对、157 对和 224 对。我国番茄施氮试验文献中土壤氮素丰缺指标研究的相关信息见表 1。

表 1 我国番茄施氮试验文献中与土壤氮素丰缺指标研究相关信息
Table 1 Relevant information about soil N abundance-deficiency index from tomato N fertilization experimental literatures in China

种植条件	涉及省份 (试验数量)	番茄品种 数量	缺氮处理产量 (kg/hm ²)	施氮处理产量 (kg/hm ²)	施氮量 (kg/hm ²)
露地	辽宁(29)北京(26)吉林(25)新疆(20)黑龙江(4)贵州(3)山西(3)重庆(2)甘肃(2)江苏(2)内蒙古(2)福建(1)广西(1)河南(1)宁夏(1)山东(1)上海(1)四川(1)	56	69 ~ 155 348	122 ~ 184 750	17 ~ 1 124
设施	北京(31)山东(25)辽宁(18)河北(17)河南(15)江苏(15)甘肃(5)宁夏(4)新疆(4)安徽(3)黑龙江(3)内蒙古(3)天津(3)湖北(2)吉林(2)陕西(2)浙江(1)山西(1)云南(1)	71	101 ~ 217 179	129 ~ 230 432	60 ~ 2 400

种植条件	土壤类型数量	土壤 pH	土壤碱解氮含量 (mg/kg)	土壤全氮含量 (g/kg)	土壤有机质含量 (g/kg)
露地	23	5.6 ~ 8.9	45.6 ~ 282.0	0.5 ~ 2.7	5.0 ~ 42.1
设施	33	5.3 ~ 8.9	42.6 ~ 297.8	0.5 ~ 2.6	6.9 ~ 42.3

2.2 我国番茄土壤氮素含量与缺氮处理相对产量回归方程

为最大限度地保证样本数量, 以回归趋势线为参考, 从总体数据中剔除个别明显偏离群体的数据后, 建立我国土壤碱解氮、全氮和有机质含量与番茄缺氮处理相对产量回归方程如图 1 所示。剔除离群数据后, 分别利用 178 对和 142 对配套数据建立土壤碱解氮和全氮含量与番茄缺氮处理相对产量回归方程, 2 个回归方程均达到极显著水平($P<0.01$)。当土壤碱解氮和全氮含量范围分别为 42.6 ~ 297.8 mg/kg 和 0.5 ~ 3.0 g/kg 时, 缺氮处理相对产量范围分别为 5.9% ~ 115.7% 和 5.9% ~ 113.2%。分别利用 207 对、79 对

和 127 对配套数据建立土壤有机质(全体)、土壤有机质(露地)和土壤有机质(设施)含量与番茄缺氮处理相对产量回归方程, 3 个回归方程均达到极显著水平($P<0.01$)。当全体、露地和设施土壤有机质含量范围分别为 5.0 ~ 42.3 g/kg、5.0 ~ 42.1 g/kg 和 7.3 ~ 42.3 g/kg 时, 番茄缺氮处理相对产量范围分别为 34.7% ~ 107.9%、37.1% ~ 107.9% 和 34.7% ~ 106.3%。

2.3 我国番茄土壤氮素丰缺指标的建立

通过土壤氮素含量和番茄缺氮处理相对产量回归方程, 计算得到缺氮处理相对产量 100%、95%、90%、80%、70%、60%、50% 所对应的露地土壤碱解氮含量依次为 303.1、239.7、189.5、118.5、74.1、

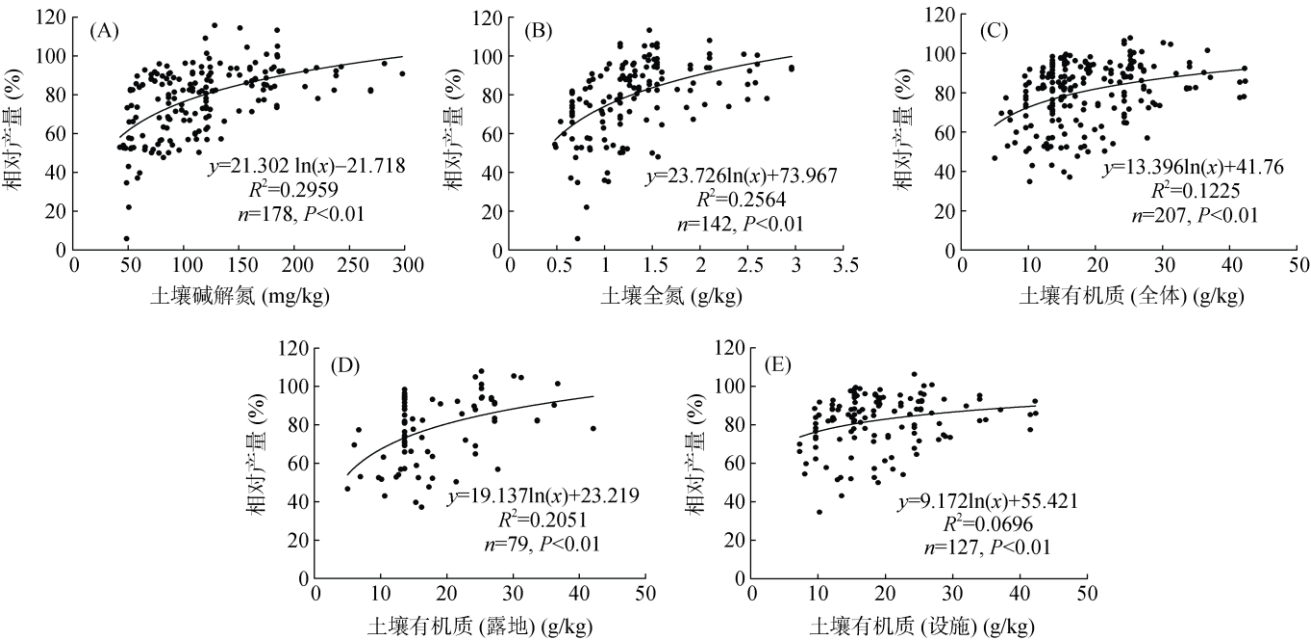


图 1 我国土壤氮素含量与番茄缺氮处理相对产量回归关系
Fig. 1 Regression relationship between soil nitrogen content and tomato relative yield without N fertilizer treatment in China

46.3、29.0 mg/kg；土壤全氮含量依次为 3.0、2.4、2.0、1.3、0.8、0.6、0.4 g/kg；土壤有机质(全体)含量依次为 77.3、53.2、36.6、17.4、8.2、3.9、1.8 g/kg；土壤有机质(露地)含量依次为 55.3、42.6、32.8、19.4、11.5、

6.8、4.1 g/kg；土壤有机质(设施)含量依次为 129.1、74.8、43.4、14.6、4.9、1.6、0.6 g/kg。根据高端和低端分别至多保留 1 个外推数据原则，舍弃超出范围的外推数据后，得到我国番茄土壤氮素丰缺指标(表 2)。

表 2 我国番茄土壤氮素丰缺指标
Table 2 Abundance-deficiency indexes of soil N for tomatoes in China

氮素丰缺级别		7	6	5	4	3	2	1
缺氮处理相对产量(%)		<50	50 ~ 60	60 ~ 70	70 ~ 80	80 ~ 90	90 ~ 100 (95)	≥100 (95)
氮素相关指标	碱解氮(mg/kg)	<29.0	29.0 ~ 46.3	46.3 ~ 74.1	74.1 ~ 118.5	118.5 ~ 189.5	189.5 ~ 303.1 (239.7)	≥303.1 (239.7)
	全氮(g/kg)	<0.4	0.4 ~ 0.6	0.6 ~ 0.8	0.8 ~ 1.3	1.3 ~ 2.0	2.0 ~ 3.0 (2.4)	≥3.0 (2.4)
	有机质(全体)(g/kg)	<1.8	1.8 ~ 3.9	3.9 ~ 8.2	8.2 ~ 17.4	17.4 ~ 36.6	36.6 ~ 77.3 (53.2)	≥77.3 (53.2)
	有机质(露地)(g/kg)	<4.1	4.1 ~ 6.8	6.8 ~ 11.5	11.5 ~ 19.4	19.4 ~ 32.8	32.8 ~ 55.3 (42.6)	≥55.3 (42.6)
	有机质(设施)(g/kg)	<0.6	0.6 ~ 1.6	1.6 ~ 4.9	4.9 ~ 14.6	14.6 ~ 43.4	43.4 ~ 129.1 (74.8)	≥129.1 (74.8)

注：带下划线者为外推数据。

2.4 我国番茄不同丰缺级别土壤推荐施氮量

表 3 列出了我国番茄不同目标产量和不同氮肥利用率下不同丰缺级别土壤的推荐施氮量。对于目标产量为 120 t/hm² 的番茄，当氮肥当季利用率为 40% 时，土壤氮素丰缺级别第 1 ~ 7 级的推荐施氮量依次为 0、81、162、243、324、405、486 kg/hm²；当氮肥利用率提高到 50% 时，推荐施氮量依次为 0、65、130、194、259、324、389 kg/hm²，比 40% 氮肥利用率分别节约氮素 0、16、32、49、65、81、97 kg/hm²；当氮肥利用率降低到 30% 时，推荐施氮量依次为 0、107、217、324、431、541、648 kg/hm²，比 40% 氮肥利用率分别浪费氮素 0、26、55、81、107、136、162 kg/hm²。番茄推荐施氮量与氮肥当季利用率、土壤氮素丰缺级别呈线性负相关关系，即氮肥当季利用率或土壤氮素丰缺级别越高，推荐施氮量越低。而番茄推荐施氮量与目标产量线性正相关，即目标产量越低，推荐施氮量越低。

3 讨论

3.1 我国番茄土壤氮素丰缺指标

本研究建立了我国番茄土壤氮素含量与缺氮处理相对产量之间的回归方程，明确了我国番茄土壤氮素丰缺指标。武书敏等^[14]和刘顺国等^[18]的研究表明，北京露地番茄缺氮处理相对产量 50% 和 95% 对应的土壤碱解氮含量分别为 50 和 130 mg/kg，辽宁设施番茄缺氮处理相对产量 70% 和 90% 对应的土壤碱解氮含量分别为 120 和 240 mg/kg。本研究结果与其差别较大，全国番茄缺氮处理相对产量 50%(29.0 mg/kg)、70%(74.1 mg/kg)和 90%(189.5 mg/kg)对应的土壤碱解氮指标明显低于上述指标，而 95% 指标(239.7 mg/kg)

明显高于北京指标。张连云^[16]和康翠娥等^[17]的研究表明，内蒙古五原县番茄缺氮处理相对产量 50% 和 95% 对应的土壤全氮含量分别为 0.45 和 1.25 g/kg，内蒙古包头九原区设施番茄缺氮处理相对产量 50%、90% 和 95% 对应的土壤全氮含量分别为 0.09、2.35 和 3.54 g/kg。本研究结果与之相近，全国番茄缺氮处理相对产量 50% 对应的土壤全氮指标(0.4 g/kg)明显高于内蒙古包头九原区指标，而与内蒙古五原县指标颇为接近；全国番茄缺氮处理相对产量 90% 对应的土壤全氮指标(2.0 g/kg)与内蒙古包头九原区指标较为一致；全国番茄缺氮处理相对产量 95% 的土壤全氮指标(2.4 g/kg)略高于内蒙古五原县指标，略低于内蒙古包头九原区指标。康翠娥等^[17]的研究表明，内蒙古包头九原区设施番茄缺氮处理相对产量 50%、90% 和 95% 对应的土壤有机质含量分别为 2.5、52 和 76 g/kg。由本研究结果可知，全国番茄缺氮处理相对产量 50%(1.8 g/kg)、90%(36.6 g/kg)和 95%(53.2 g/kg)对应的土壤有机质指标均略低于内蒙古指标；全国露地番茄研究结果与其差别较大，缺氮处理相对产量 50% 的土壤有机质指标(4.1 g/kg)明显比其高，而 90%(32.8 g/kg)和 95%(42.6 g/kg)指标明显比其低；全国设施番茄研究结果与之相近，缺氮处理相对产量 50% 对应的土壤有机质指标(0.6 g/kg)较低于内蒙古指标，但 90%(43.4 g/kg)和 95%(74.8 g/kg)指标仅略低于内蒙古指标，这应该是由二者皆为设施番茄试验所致。鉴于本研究样本数量大、地域分布广、时间持续久，且研究结果与我国水稻^[5]、小麦^[7]、玉米^[10]、甘薯^[13]、燕麦^[21]、甜菜^[23]、甘蔗^[25]的相应研究结果亦较为相符，因此有理由相信该全国番茄土壤氮素丰缺指标研究结果较为可靠。

表 3 我国番茄在不同目标产量和不同氮肥当季利用率下各个丰缺级别土壤的推荐施氮量(kg/hm²)

Table 3 Recommended N fertilizer application rates for soils in different N abundance-deficiency levels under different target tomato yields and utilization rates of N fertilizer in tomato season in China

目标 产量 (t/hm ²)	氮肥当季 利用率(%)	氮素丰缺级别						
		7	6	5	4	3	2	1
45	50	≥146	122	97	73	49	24	0
	40	≥182	152	122	91	61	30	0
	30	≥243	203	162	122	81	40	0
60	50	≥194	162	130	97	65	32	0
	40	≥243	203	162	122	81	41	0
	30	≥324	271	215	162	109	53	0
75	50	≥243	203	162	122	81	41	0
	40	≥304	253	203	152	101	51	0
	30	≥405	338	269	203	136	67	0
90	50	≥292	243	194	146	97	49	0
	40	≥365	304	243	182	122	61	0
	30	≥486	406	323	243	163	80	0
105	50	≥340	284	227	170	113	57	0
	40	≥425	354	284	213	142	71	0
	30	≥567	473	377	284	190	94	0
120	50	≥389	324	259	194	130	65	0
	40	≥486	405	324	243	162	81	0
	30	≥648	541	431	324	217	107	0
135	50	≥437	365	292	219	146	73	0
	40	≥547	456	365	273	182	91	0
	30	≥729	609	485	365	244	120	0
150	50	≥486	405	324	243	162	81	0
	40	≥608	506	405	304	203	101	0
	30	≥810	676	539	405	271	134	0
165	50	≥535	446	356	267	178	89	0
	40	≥668	557	446	334	223	111	0
	30	≥891	744	593	446	298	147	0
180	50	≥583	486	389	292	194	97	0
	40	≥729	608	486	365	243	122	0
	30	≥972	812	646	486	326	160	0
195	50	≥632	527	421	316	211	105	0
	40	≥790	658	527	395	263	132	0
	30	≥1 053	879	700	527	353	174	0

3.2 我国番茄适宜施氮量

本研究提供了不同目标产量和不同氮肥当季利用率下各个丰缺级别土壤的适宜施氮量(表 3)。张福锁等^[30]针对目标产量 50 ~ 200 t/hm²的华北地区设施番茄的推荐施氮量范围为 0 ~ 500 kg/hm²。当氮肥当季利用率为 40%时,本研究土壤氮素丰缺级别第 1 ~ 5 级的推荐施氮量(0 ~ 527 kg/hm²)与其十分接近。本

研究涉及的番茄施肥研究文献针对目标产量 0.1 ~ 230 t/hm²的氮素推荐施用量为 17 ~ 2 400 kg/hm²,本研究得出的最高适宜施氮量(1 053 kg/hm²)介于其间。由此可见,本研究得出的番茄适宜施氮量结果较为可靠。

4 结论

当氮肥当季利用率为 40%、番茄目标产量为 120 t/hm²时,土壤氮素丰缺级别第 1 ~ 7 级的推荐施氮量依次为 0、81、162、243、324、405、486 kg/hm²。适宜施氮量与土壤氮素丰缺级别和氮肥当季利用率线性负相关,与番茄目标产量线性正相关。本研究建立了全国番茄土壤氮素丰缺指标,确定了不同目标产量和不同氮肥当季利用率情形下不同氮素丰缺级别土壤的番茄推荐施氮量,可为我国番茄测土施氮提供科学依据。

参考文献:

[1] 孙永珍, 贺靖, 魏芳, 等. “十三五”我国番茄产业发展及其国际竞争力评价[J]. 中国瓜菜, 2023, 36(1): 112–116.

[2] 王远, 许纪元, 潘云枫, 等. 长江下游地区水肥一体化对设施番茄氮肥利用率及氮挥发的影响[J]. 土壤学报, 2022, 59(3): 776–785.

[3] 周鸣铮. 中国的测土施肥[J]. 土壤通报, 1987, 18(1): 7–13.

[4] 黄德明. 我国农田土壤养分肥力状况及丰缺指标[J]. 华北农学报, 1988, 3(2): 46–53.

[5] 孙洪仁, 张吉萍, 江丽华, 等. 中国水稻土壤氮素丰缺指标与适宜施氮量[J]. 中国农学通报, 2019, 35(11): 82–87.

[6] 孙洪仁, 张吉萍, 江丽华, 等. 我国水稻土壤有效磷和速效钾丰缺指标与适宜磷钾施用量研究[J]. 中国稻米, 2018, 24(5): 1–10.

[7] 孙洪仁, 张吉萍, 江丽华, 等. 中国小麦土壤氮素丰缺指标与适宜施氮量研究[J]. 北方农业学报, 2018, 46(2): 41–46.

[8] 孙洪仁, 张吉萍, 江丽华, 等. 中国小麦土壤有效磷丰缺指标与适宜施磷量研究[J]. 中国农学通报, 2019, 35(21): 30–37.

[9] 孙洪仁, 张吉萍, 江丽华, 等. 中国小麦土壤速效钾丰缺指标与适宜施钾量研究[J]. 土壤, 2019, 51(5): 895–902.

[10] 孙洪仁, 曾红, 赵雅晴, 等. 中国玉米土壤氮素丰缺指标与适宜施氮量[J]. 北方农业学报, 2017, 45(3): 40–49.

[11] 孙洪仁, 赵雅晴, 曾红, 等. 中国若干区域玉米土壤有效磷丰缺指标与适宜施磷量[J]. 中国土壤与肥料, 2017(2): 26–34.

[12] 孙洪仁, 刘江扬, 赵雅晴, 等. 中国玉米土壤速效钾丰缺指标与适宜施钾量研究[J]. 中国土壤与肥料, 2017(5): 29–37.

[13] 张辉, 谭诚, 周晓月, 等. 长江中下游甘薯氮磷钾施肥

- 用效果与区域土壤养分丰缺指标研究[J]. 土壤, 2022, 54(4): 676–681.
- [14] 武书敏, 黄德明, 徐建铭, 等. 露地西红柿土壤养分丰缺指标研究[J]. 蔬菜, 1986(3): 5–8.
- [15] 吴建繁. 北京市无公害蔬菜诊断施肥与环境效应研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2001.
- [16] 张连云. 基于“3414”试验的土壤氮磷钾丰缺指标制定与应用研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2008.
- [17] 康翠娥, 蔡利, 蔡锐. 保护地番茄施肥指标体系的初步建立[J]. 内蒙古农业科技, 2013, 41(2): 70–72.
- [18] 刘顺国, 韩晓日, 刘小虎. 辽宁省保护地主要蔬菜土壤养分丰缺指标建立初探[J]. 农业科技与装备, 2015(9): 7–10.
- [19] 孙洪仁, 曹影, 刘琳, 等. 中国北方紫花苜蓿土壤有效磷丰缺指标与适宜施磷量初步研究[J]. 中国土壤与肥料, 2016(3): 30–36.
- [20] 王彦, 朱凯迪, 孙洪仁, 等. 内蒙古高原紫花苜蓿土壤有效磷丰缺指标和推荐施磷量研究[J]. 草地学报, 2020, 28(2): 577–582.
- [21] 孙洪仁, 曾红, 刘江扬, 等. 中国农牧交错带燕麦土壤氮素丰缺指标与适宜施氮量初步研究[J]. 北方农业学报, 2017, 45(5): 22–27.
- [22] 孙洪仁, 曾红, 刘江扬, 等. 中国农牧交错带燕麦土壤有效磷丰缺指标与适宜施磷量初步研究[J]. 中国农学通报, 2018, 34(10): 101–105.
- [23] 孙洪仁, 张吉萍, 吕玉才, 等. 中国北方甜菜土壤碱解氮丰缺指标与适宜施氮量研究[J]. 中国糖料, 2019, 41(2): 14–17.
- [24] 孙洪仁, 张吉萍, 吕玉才, 等. 中国北方甜菜土壤速效钾丰缺指标与适宜施钾量研究[J]. 中国糖料, 2020, 42(1): 45–49.
- [25] 钟培阁, 孙洪仁, 张吉萍, 等. 中国南方甘蔗土壤全氮丰缺指标与适宜施氮量初步研究[J]. 中国糖料, 2020, 42(3): 43–48.
- [26] 朱凯迪, 孙洪仁, 张吉萍, 等. 我国籽实和饲草谷子土壤氮素丰缺指标和推荐施氮量[J]. 草地学报, 2022, 30(8): 2207–2216.
- [27] 孙洪仁, 曹影, 刘琳, 等. 测土施肥土壤有效养分丰缺分级改良方案[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2014(19): 1–5.
- [28] 孙洪仁, 曹影, 刘琳, 等. “养分平衡—地力差减法”确定适宜施肥量的新应用公式[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2014(7): 1–4.
- [29] 孙洪仁, 曹影, 刘琳, 等. 测土施肥不同丰缺级别土壤的适宜施肥量[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2014(23): 7–11.
- [30] 张福锁, 陈新平, 陈清, 等. 中国主要作物施肥指南[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2009.