doi：10.11838/sfsc.1673-6257.22234

京郊设施菜地施肥和土壤肥力现状初探

闫　实[1]，于跃跃[1]，梁金凤[1]，郭　宁[1*]，刘　瑜[1]，赵凯丽[1]，刘　磊[2]

［1. 北京市耕地建设保护中心，北京　100101；
2. 北京市通州区农业（种植）技术推广中心，北京　101101］

摘　要：为掌握京郊设施菜地施肥和土壤肥力状况，通过问卷、入户调查、田间访谈和实地取样的方式，深入生产一线开展调研。调研发现：京郊设施番茄平均公顷产量为82539 kg，有机肥养分投入量平均折合纯N 200.10 kg/hm^2、P_2O_5 137.25 kg/hm^2、K_2O 348.75 kg/hm^2，化肥养分投入量平均折合纯N 429.60 kg/hm^2、P_2O_5 294.15 kg/hm^2、K_2O 483.00 kg/hm^2；种植0 ~ 15年的设施土壤有机质含量随种植年限迅速升高，而后增幅减缓，并保持相对稳定，种植15年以上的设施土壤有机质含量稍有降低；土壤有效磷和碱解氮含量随种植年限的增加呈先增加后减少的趋势，11 ~ 15年达到最高值，土壤速效钾含量随种植年限的增加呈降低的趋势，土壤养分综合指数随着种植年限的增加呈先增加后下降的趋势；土壤生物肥力方面，不同种植年限的设施土壤均以细菌占优，其次为放线菌，真菌含量最少。随种植年限的增加，土壤细菌和微生物总数量呈先增高后降低的趋势，其中种植年限在11 ~ 15年之间的设施细菌和微生物总量最高，土壤转化酶、脱氢酶、脲酶活性均随种植年限的增加呈降低的趋势。初步摸清了京郊设施菜地施肥和土壤肥力现状，为北京郊区设施菜地的科学管理提供依据。

关键词：设施菜地；施肥；土壤肥力

设施农业是一种集约型现代化高科技农业，它利用一定设施，为作物提供相对可控制的环境条件。目前北京市蔬菜生产以设施蔬菜为主，设施蔬菜播种面积占蔬菜播种面积的65.7%，设施蔬菜产量占蔬菜总产量的比重自2011年的37.10%上升至2019年的70.96%。北京市还制定了《北京市高效设施农业用地试点工作方案（2020—2025年）》，加大现代高效设施农业用地支持力度，推进设施蔬菜集群化发展[1]。设施蔬菜改变了蔬菜生长发育环境条件，导致茬口众多，为京郊蔬菜周年均衡供应提供了重要保证。但是较多农户为了追求短期利益，养分管理方式大部分是肥大水勤，不断出现设施土壤障碍，严重影响了作物产量和品质的提高[2-4]。

有研究表明，随着种植年限的增加，北京设施菜地土壤有机质、NH_4^+-N、NO_3^--N、HCO_3^-、Cl^-、SO_4^{2-}、K^+、Na^+、Ca^{2+}、Mg^{2+}浓度均升高，土壤酸化明显，连续种植12年的设施大棚，土壤pH值由7.10下降至6.18，土壤出现了次生盐渍化[5]；土壤生物是生态系统的重要组成部分，作为土壤分解系统的主要驱动因子，能有效地评价土壤的活力和健康状况。近年来对设施菜地土壤微生物的研究表明，随着种植年限增加，微生物数量或增加、降低或者变化不明显，而土壤微生物群落结构变化明显，尤其是与氮循环相关的功能群微生物，设施菜地不同种植年限土壤性质的变化可能导致土壤微生物数量及群落结构的变化[6-8]。

土壤养分的高低直接影响设施蔬菜作物的产量与品质，及时查明土壤养分状况、生物肥力状况对培肥地力、土地资源合理利用和保护都有着重要的意义。本文通过采集京郊129个设施菜地样本进行分析汇总，初步摸清京郊设施菜地施肥和土壤肥力（化学与生物肥力）现状，可以更好地指导设施蔬菜生产和土壤养分的管理。

1　研究对象及方法

1.1　研究对象

根据北京市郊区土壤类型，采集的样品要能反映北京市设施土壤整体肥力现状，因此选取了大兴、房山、密云、顺义、通州和昌平作为典型性调查区域，根据设施农业发展的程度与趋势，选择不同规模、不同棚龄的设施农业作为具体的调查对象，以番茄为主栽作物，挑选以番茄－果菜类轮作

收稿日期：2022-04-18；**录用日期：**2022-07-13

作者简介：闫实（1990-），硕士研究生，高级农艺师，主要从事土壤肥料研究与推广工作，E-mail：blue0410@yeah.net。

通讯作者：郭宁，E-mail：guoning829@126.com。

和番茄 – 叶菜类轮作为主要种植模式的设施设置采样点。共采集 129 份样本。

1.2　研究方法

1.2.1　问卷调研

对调查区域内设施的施肥种类、比例、用量、作物种植模式以及土壤耕作情况进行了问卷调查，调查其土壤管理施肥现状，摸清生理障碍的土壤施肥因素。

1.2.2　取土调查

按不同种植年限取 0 ~ 20 cm 土层，对土壤全量和速效养分及微生物活性进行分析，摸清土壤肥力、障碍因子和土壤微生物活性的相关性。

2　结果与分析

2.1　设施番茄施肥情况分析

2.1.1　种植年限和番茄产量分析

对 129 个样本按种植年限划分，其中种植年限为 6 ~ 10 年的棚最多，占 35.1%，其次为种植年限 16 ~ 20 年的棚，占 20.53%，种植 20 年以上的棚最少，占 5.96%（图 1）。

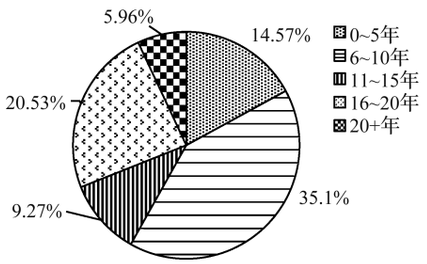

图 1　种植年限划分图

京郊设施番茄平均公顷产量为 82539 kg(图 2)。其中，种植 15 年以上的设施产量明显降低，这是由于随着棚龄的增加，老设施出现一系列问题，例如养分积累、土壤酸化、土传病害增加等，再加上农户缺少相应的土壤消毒措施，最终导致作物减产。

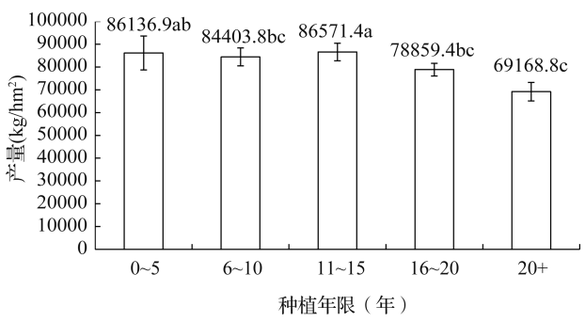

图 2　不同种植年限设施番茄平均产量比较

注：小写字母不同表示不同棚龄间产量差异显著（P<0.05），下同。

2.1.2　不同种植年限肥料施用量的变化

种植年限在 0 ~ 5、6 ~ 10、11 ~ 15、16 ~ 20 和 20 年以上的大棚平均有机肥施用量分别为 40.65、34.20、23.40、30.75 和 27.60 t/hm^2；平均化肥施用量分别为 1778.70、2875.05、2887.50、2671.20 和 2353.20 kg/hm^2（图 3、图 4）。

有机肥施肥量随着种植年限的增加而逐渐减少，而化肥施肥量则随着种植年限的增加而相应增加，尤其是在 6 ~ 15 年内，这是由于新菜田土壤有机质含量较低，农户为了快速提升土壤有机质含量而大量施用农家肥，加速土壤熟化过程，以达到改善土壤理化状况的目的。随着种植年限增加，农户对有机肥的投入量减少，开始大量施用化肥，一系列的不合理施用最终导致土壤出现诸多障碍问题。

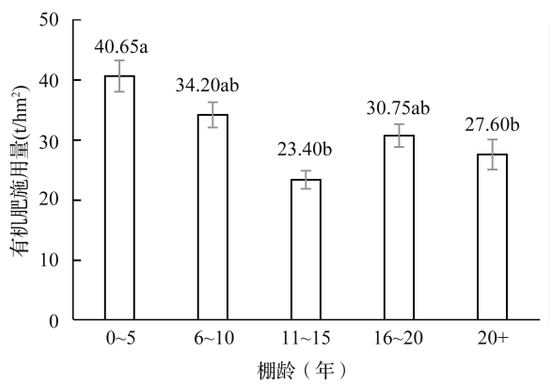

图 3　不同种植年限有机肥施肥量比较

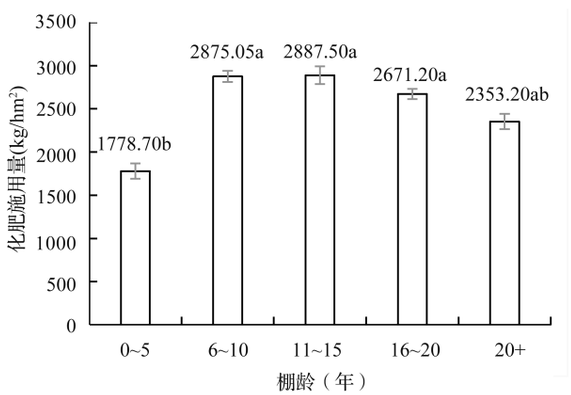

图 4　不同种植年限化肥施肥量比较

2.1.3　设施番茄养分投入量分析

对 129 个设施番茄大棚有机肥养分投入量进行统计（表 1）。有机肥养分投入量平均折合纯 N 200.10、P_2O_5 137.25、K_2O 348.75 kg/hm^2。目前京郊设施番茄有机肥氮素投入明显偏高；化肥养分投入

量平均折合纯 N 429.60 kg/hm^2、P_2O_5 294.15 kg/hm^2、K_2O 483.00 kg/hm^2。有研究指出：设施栽培条件下，番茄的氮、磷、钾养分吸收特征为每形成 1000 kg 果实，番茄吸收 1.77 ~ 3.49 kg N、0.28 ~ 0.75 kg P 和 1.21 ~ 5.57 kg K[9]。可见，京郊设施番茄化肥养分投入量明显偏高，其中氮高出吸收量 1.64 ~ 3.24 倍，磷高出吸收量 5.23 ~ 14 倍，钾高出吸收量 1.16 ~ 5.32 倍，进一步表明目前设施番茄化肥投入量偏高；总养分投入量平均折合纯 N 629.70 kg/hm^2、P_2O_5 431.40 kg/hm^2、K_2O 831.75 kg/hm^2。每千克番茄产量消耗 N 7.6 g，P_2O_5 5.2 g，K_2O 10.1 g，消耗氮、磷、钾总养分 22.9 g。

表 1　设施番茄养分投入量

蔬菜品种	样本量（个）	有机肥养分投入量（kg/hm^2）			底肥化肥养分投入量（kg/hm^2）			追肥化肥养分投入量（kg/hm^2）			总养分投入量（kg/hm^2）		
		N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O
番茄	129	200.10	137.25	348.75	145.05	151.95	150.90	284.55	142.20	332.10	629.70	431.40	831.75

注：商品有机肥按照氮、磷、钾比例 2.0%、1.5% 和 1.5% 计算，粪肥氮磷钾比例按照《有机肥料加工与施用》所著进行计算，有机肥矿化参数氮、磷、钾分别为 30%、50% 和 80%。

不同蔬菜种类对养分的需求各异，作物吸收各养分比例与作物产量水平、土壤类型和肥力状况等有关。研究表明，番茄一般吸收氮（N）、磷（P_2O_5）、钾（K_2O）比例为 1∶0.37∶1.46 左右，而调研结果表明番茄实际施用氮磷钾比例为 1∶0.68∶1.33，养分比例不协调。

2.2　设施番茄土壤养分状况分析

2.2.1　土壤有机质含量变化

种植年限在 0 ~ 5、6 ~ 10、11 ~ 15、16 ~ 20 和 20 年以上的大棚土壤平均有机质含量分别为 23.89、25.27、26.40、21.60 和 23.83 g/kg（图 5）。种植年限较短（0 ~ 15 年）的设施土壤有机质含量随棚龄迅速升高，而后增幅减缓，并保持相对稳定，这是由于新设施菜地以施用有机肥为主，其含有大量有机质和营养元素，起初有机质消耗少于积累，而后随着种植过程中每年大棚多茬蔬菜的生长消费，造成有机质积累与消耗相对均衡所致[10]。本研究把农户的有机肥平均施用量和土壤有机质含量做了相关性分析，发现有机肥平均施用量和土壤有机质含量呈极显著正相关关系。

但是，种植年限达 15 年以上的老设施菜地土壤有机质含量稍有降低，这是由于常年的化肥过量投入，施肥的不合理导致老设施菜地土壤出现诸多障碍问题，又没有得到及时处理，最终导致农户减产减收。

2.2.2　土壤有效磷含量变化

种植年限在 0 ~ 5、6 ~ 10、11 ~ 15、16 ~ 20 和 20 年以上的大棚土壤平均有效磷含量分别为 142.26、206.21、218.12、228.23 和 226.02 mg/kg（图 6）。土壤有效磷含量随着棚龄的增加呈增加的趋势。这是由于磷肥施入土壤后，大部分转化为作物难以利用的难溶性磷，再随着土壤中磷素形态的转化而逐渐释放出来。

但是在设施栽培条件下，常年大量施用肥料会使得土壤亚表层有效磷不断积累，因此应考虑设施土壤有效磷积累对生态环境造成的潜在威胁，适当减少磷肥的施用。

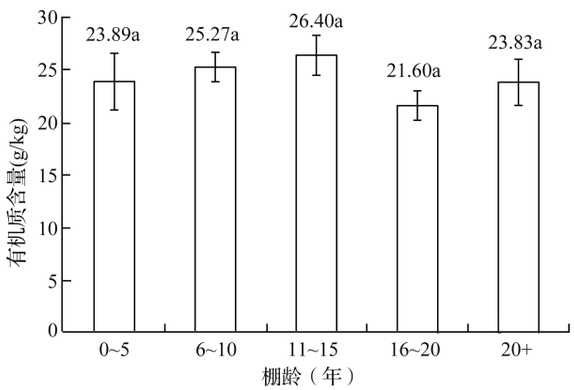

图 5　土壤有机质含量变化

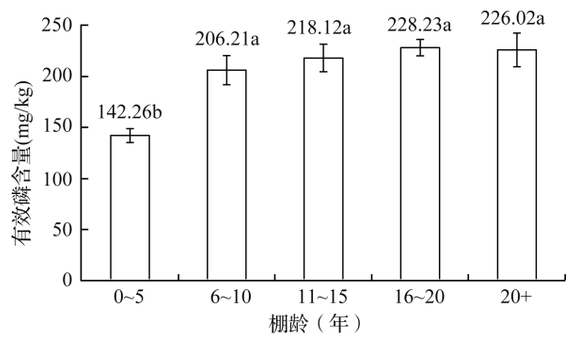

图 6　土壤有效磷含量变化

2.2.3　土壤速效钾含量变化

种植年限在 0 ~ 5、6 ~ 10、11 ~ 15、16 ~ 20 和 20 年以上的大棚土壤平均速效钾含量分别为 247.40、237.28、246.15、236.54 和 219.58 mg/kg（图 7），随着棚龄的增加，土壤速效钾含量在前 10 年保持基本稳定，继而呈逐渐降低的趋势。因为农户初期为了提高土壤有机质含量大量施用有机肥并在追肥时重施钾肥，从第 15 年开始土壤速效钾含量逐渐降低，这可能是由于农户的施肥不合理和管理水平低导致部分速效钾淋失到深层土壤并逐渐积累的原因，不利于作物吸收。同时，也反映出农户施肥习惯上重施氮、磷肥，轻钾肥，甚至不施，蔬菜所需钾量仅靠有机肥补充，而随着种植年限的增加，有机肥施用量逐渐减少，土壤中钾素也随之降低。

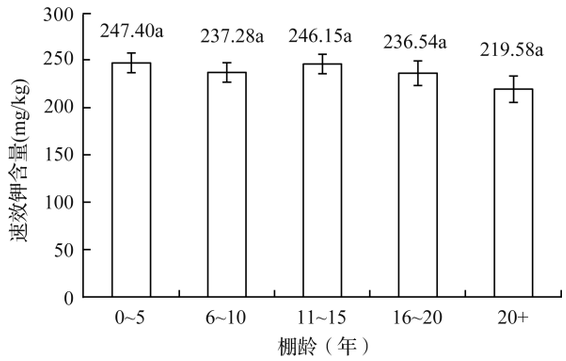

图 7　土壤速效钾含量变化

2.2.4　土壤碱解氮含量变化

种植年限在 0 ~ 5、6 ~ 10、11 ~ 15、16 ~ 20 和 20 年以上的大棚土壤平均碱解氮含量分别为 158.42、230.74、236.21、230.35 和 210.60 mg/kg（图 8）。种植年限短的大棚土壤碱解氮提高较快，随着种植年限的增加，土壤碱解氮含量有所下降，这是由于每年设施菜田大量灌水，表层土壤氮素向下淋失的结果[11]。

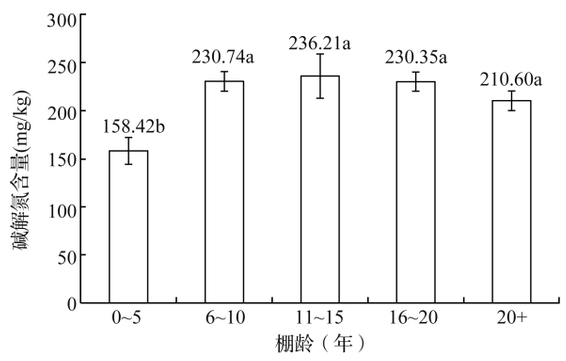

图 8　土壤碱解氮含量变化

2.2.5　土壤 pH 值变化

种植年限在 0 ~ 5、6 ~ 10、11 ~ 15、16 ~ 20 和 20 年以上的大棚土壤平均 pH 值分别为 7.97、7.46、7.11、7.60 和 7.50（图 9），土壤 pH 值随着种植年限的增加呈逐渐下降的趋势。这是由于土壤中含 N 肥料在硝化作用的同时还释放出 H^+，过量 H^+ 超出土壤对酸的缓冲能力导致土壤 pH 值的下降；另外，蔬菜作物多长期施用酸性肥料，如 KCl、过磷酸钙、含氯及含硫复合肥等，以及大量有机肥分解产生的有机酸、可交换性阳离子被作物吸收产生的生理酸等，又进一步加剧了土壤的酸化。

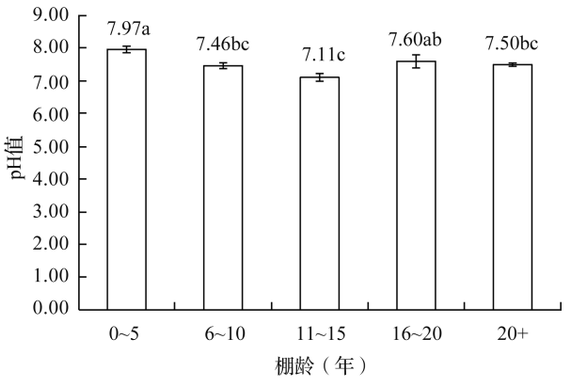

图 9　土壤 pH 值变化

2.2.6　土壤化学肥力综合指数分析

土壤养分含量分级标准参照适用于北京市粮田、菜田和果园用地土壤的《北京市土壤养分评价指标》进行评价[3, 12]。依照北京市土壤养分评分规则和土壤养分指标权重，采用加法模型，计算各种植年限的养分综合指数。

种植年限在 0 ~ 5、6 ~ 10、11 ~ 15、16 ~ 20 和 20 年以上的大棚土壤养分综合指数分别为 83.35、91.69、93.79、82.39 和 81.25。土壤养分综合指数随着种植年限的增加呈先增加后下降的趋势，这和土壤有机质的趋势基本相似。新菜田养分综合指数较低，随着大量有机肥培肥，土壤养分综合指数升高，老设施由于过量施加化肥，出现障碍问题，导致土壤养分综合指数降低。

2.2.7　土壤施肥量与土壤化学养分相关性分析

土壤施肥量为该茬番茄种植期间投入的所有纯氮磷钾的总和，分析土壤施肥量与土壤养分之间的相关性可知，土壤施肥量与土壤有机质、土壤碱解氮和土壤速效钾成显著正相关关系（$P<0.05$）；土壤养分综合指数与土壤有机质、土壤碱解氮、土壤有效磷和土壤速效钾均成极显著正相关关系（$P<0.01$）。

表 2　土壤养分等级评价分级指标

项目等级	全量养分				各项评分
	有机质（g/kg）	碱解氮（mg/kg）	有效磷（mg/kg）	速效钾（mg/kg）	
极低	<10	<45	<15	<70	20
低等	10 ~ 15	45 ~ 60	15 ~ 30	70 ~ 100	40
中等	15 ~ 20	60 ~ 90	30 ~ 60	100 ~ 125	60
高等	20 ~ 25	90 ~ 120	60 ~ 90	125 ~ 155	80
极高	>25	>120	>90	>155	100
权数	0.3	0.25	0.25	0.2	

表 3　设施番茄土壤肥力综合指数

棚龄（年）	样本量（个）	有机质（g/kg）	碱解氮（mg/kg）	有效磷（mg/kg）	速效钾（mg/kg）	养分综合指数
0 ~ 5	21	23.89	158.42	142.26	247.40	83.35 ± 4.95ab
6 ~ 10	53	25.27	230.74	206.21	237.28	91.69 ± 1.50ab
11 ~ 15	14	26.40	236.21	218.12	246.15	93.79 ± 1.24a
16 ~ 20	31	21.60	230.35	228.23	236.54	82.39 ± 3.52b
20 以上	10	23.83	210.60	226.02	219.58	81.25 ± 2.01b

注：小写字母不同表示处理间差异显著（$P<0.05$）。

表 4　土壤养分与施肥量相关性分析

因子	施肥量	土壤养分综合指数	产量
土壤有机质	0.223*	0.752**	0.096
土壤碱解氮	0.211*	0.542**	0.026
土壤有效磷	0.102	0.588**	0.132
土壤速效钾	0.199*	0.491**	0.145

注：* 表示显著性为 0.05，** 表示显著性为 0.01。

2.3　设施番茄土壤生物肥力状况分析

2.3.1　土壤微生物主要类群数量变化

表 5 中可以看出，不同种植年限的设施土壤均以细菌占优势，供试土样中细菌数量分别占其微生物总数量的 90% 左右，其中种植年限为 0 ~ 5 年的设施菜田土壤细菌占比高达 97.25%，其次为放线菌，真菌含量最少。

随种植年限的增加，土壤细菌和微生物总数量呈先增高后降低的趋势，其中种植年限在 11 ~ 15 年之间的设施细菌和微生物总量最高，分别为 52.06×10^6 和 54.96×10^6 个 /g。说明种植年限到一定阶段时，施入的有机肥加速了土壤熟化过程，土壤理化性质状况得以改善，为微生物活动提供了较好的生活空间，构成了微生物生长、繁殖、竞争的生态环境，使其数量远远超过新菜田；而长期连作（种植年限达 16 年以上）的阻碍，使得老菜田农家有机肥的补充施入减少，土壤有机质更新减慢，土壤通气、水分等理化性状变差，其微生物数量减少。此外，真菌和放线菌的数量则随着种植年限而增加，这可能是由于真菌和放线菌发育较慢，在土壤营养水平较高的时候，它们不是有力的竞争者，而当营养变得有限时，细菌类的竞争压力减少，放线菌和真菌占优势，这也是一个从侧面反映了土壤性质不良的指标[13-14]。

表 5　不同种植年限土壤微生物数量

种植年限	微生物数量（个 /g）				各类占微生物总数（%）		
	细菌（$\times10^6$）	真菌（$\times10^4$）	放线菌（$\times10^5$）	总数（$\times10^6$）	细菌	真菌	放线菌
0 ~ 5	41.24	11.79	10.45	42.40	97.26	0.28	2.46
6 ~ 10	13.35	9.16	18.21	15.26	87.48	0.60	11.93
11 ~ 15	52.06	7.11	28.26	54.96	94.72	0.13	5.14
16 ~ 20	14.17	8.54	16.96	15.95	88.84	0.54	10.63
⩾ 20	22.00	7.80	17.00	23.78	92.51	0.33	7.15

2.3.2　土壤酶活性变化

土壤中转化酶直接参与土壤碳素循环，是评价土壤中物质转化强度的酶类。由图 10 可以看出，种植 10 年内的设施土壤转化酶活性基本保持稳定，但随着种植年限的增加，土壤转化酶活性逐渐降低。种植 10 年内的设施土壤转化酶活性分别比种植 10 ~ 20 和 20 年以上的设施土壤高出 34.52% 和 131.14%。

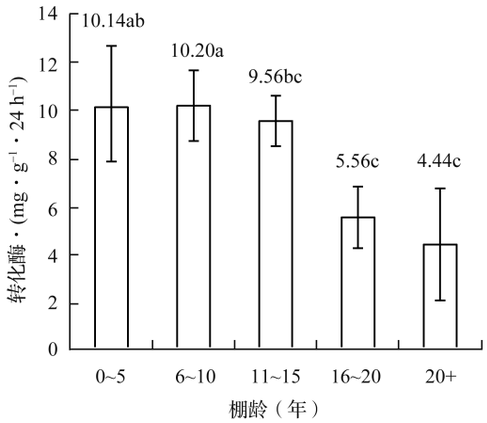

图 10　不同种植年限土壤转化酶变化

土壤脲酶直接参与土壤中含氮有机化合物的转化，其活性强度常用来表征土壤氮素供应强度。土壤脲酶活性及其动态变化能够反映土壤健康状况和营养水平，脲酶活性越高，土壤健康状况越好，可作为平均健康土壤的生物学指标之一[15-17]。由图 11 可以看出，种植年限在 11 ~ 15 年内土壤的脲酶活性达到最高，并随着种植年限的增加而逐渐减弱。

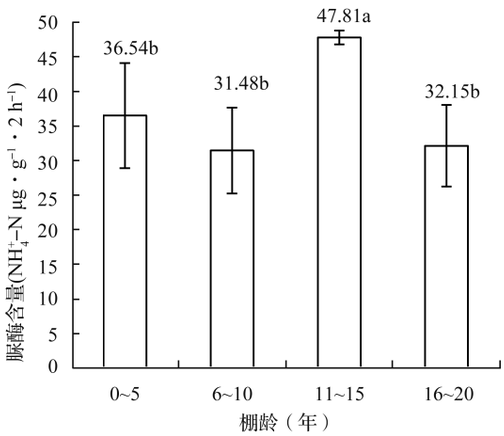

图 11　不同种植年限土壤脲酶变化

土壤脱氢酶属于氧化还原酶系，它自一定的基质中析出氢或氢的供体而进行氧化作用，反映土壤微生物新陈代谢的整体活性，可以作为微生物氧化还原能力的指标。由图 12 可以看出，随着种植年限的增加，土壤脱氢酶活性逐渐减弱。

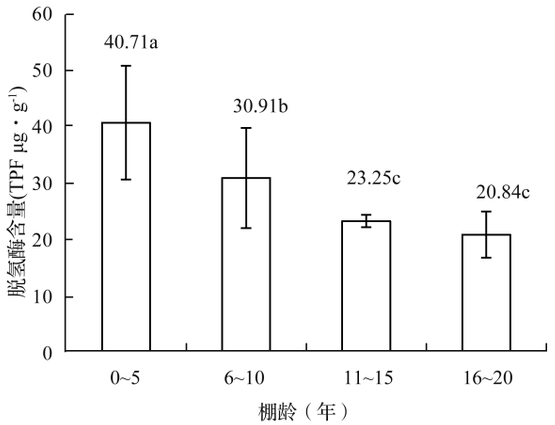

图 12　不同种植年限土壤脱氢酶变化

3　讨论

3.1　京郊设施番茄施肥基本情况现状

京郊设施番茄平均公顷产为 82539 kg，其中，种植 15 年以上的设施产量明显降低。有机肥施肥量随着种植年限的增加而逐渐减少，而化肥施肥量则随着种植年限的增加而相应增加，尤其是在 6 ~ 15 年内。本研究中，129 个番茄设施的有机肥养分投入量平均折合纯 N 200.10 kg/hm^2、P_2O_5 137.25 kg/hm^2、K_2O 348.75 kg/hm^2；化肥养分投入量平均折合纯 N 429.60 kg/hm^2、P_2O_5 294.15 kg/hm^2、K_2O 483.0 kg/hm^2；总养分投入量平均折合纯 N 629.70 kg/hm^2、P_2O_5 431.40 kg/hm^2、K_2O 831.75 kg/hm^2。施肥量超过需求量，分析原因，其一是因为 129 个样本大多数来源农户，而农户的施肥习惯仍是呈现一种较为明显的早期经验性固定行为习惯特征[18]，即以粪肥为主，重化肥、轻有机肥，其二是近 50% 的样本种植越冬茬番茄，生育期长，导致后期追肥的施用量偏高。

番茄一般吸收氮（N）、磷（P_2O_5）、钾（K_2O）比例为 1 ∶ 0.37 ∶ 1.46 左右，而调研结果表明番茄实际施用氮磷钾比例为 1 ∶ 0.68 ∶ 1.33，养分比例不协调，菜农习惯上重氮磷肥，轻钾肥。大量研究表明，土壤中施用过量的氮会导致土壤中的氮沉积，从而导致 N_2O 气体的排放显著增加，由于设施栽培中增加灌溉防止重力水缺乏，也容易造成硝态氮的损失[14]，造成地下水污染，因此设施蔬菜中过度施

用氮肥，反至氮肥流失越多，同时造成资源浪费和环境污染。同时发现，京郊设施中磷素的盈余量较大，由于磷肥使用量较多，导致土壤中磷含量过剩。磷造成的环境污染主要是由于大量磷向地表水的浸出，导致河流、湖泊和海洋中的富营养化和生物多样性减少[19-20]。而蔬菜所需钾量仅靠有机肥补充，土壤中钾素严重缺乏，同时大棚蔬菜缺钾，会导致蔬菜抗逆性差，成为影响蔬菜高产的障碍因素[21-24]。

3.2　土壤养分现状

种植年限较短（0 ~ 15 年）的设施土壤有机质含量随棚龄迅速升高，而后随着棚龄增加增幅减缓，并保持相对稳定。但是，种植年限达 15 年以上的老设施大棚土壤有机质含量稍有降低。分析土壤养分综合指数，也印证了这一点，变化趋势和土壤有机质的基本相似，土壤养分综合指数与土壤有机质成极显著正相关关系（$P<0.01$）。同时，土壤施肥量与土壤养分也成显著正相关关系（$P<0.05$），由此可见，施肥量加大会导致土壤养分富集，在我国北方，大部分设施大棚实现高产的重要措施之一就是大量施用有机肥和化肥，其中，化肥投入的氮素占 63%、磷素占 61%、钾素占 66%，是土壤养分的主要来源。而这些营养元素的投入远大于作物生长的实际需求量，在设施栽培中氮磷钾的投入比例与作物需要的氮磷钾比例存在较大差异，作物实际吸收利用的氮磷钾分别只占投入量的 24%、8% 和 46%，因此设施土壤中盈余了大量的氮磷钾，导致土壤出现一系列障碍问题[2，9，25-37]。

因此应在农户间大力推广测土配方施肥和平衡施肥。根据土壤供肥能力、作物目标需肥量而计算出需要氮、磷、钾，甚至是微量元素的施用量，严格控制化肥的用量尤其要减少氮素化肥的用量，杜绝偏施氮肥现象。同时注意微量元素肥料的使用，推广氮、磷、钾复合肥和有机 / 无机复合肥或者根据当地土壤情况，针对具体作物品种，设计专用复合肥，可有效解决过量施肥和施肥比例不协调而造成的连作障碍问题[28-30]。

3.3　土壤生物肥力现状

不同种植年限的设施土壤均以细菌占优势，其次为放线菌，真菌含量最少。随种植年限的增加，土壤细菌和微生物总数量呈先增高后降低的趋势，其中种植年限在 11 ~ 15 年之间的设施细菌和微生物总量最高；土壤转化酶、脱氢酶、脲酶活性均随种植年限的增加呈降低的趋势。由此可见，老菜田出现诸多土壤障碍问题，是由于土壤微生物区系失衡导致的，微生物多样性下降、病原菌增多和有益微生物减少是土壤微生物区系失衡的主要表现形式。从表面上看，这一失衡主要由单一种植引起。事实上，单一种植下作物根系特定的分泌物可能刺激了病原菌的生长。因此，建议设施土壤增施微生物肥料，尤其是老菜田，能够有效调整土壤微生物结构，为生物快速生长提供所需养分，同时，土壤内部微量元素适当转化，有利于改善土壤松散度，避免土壤出现板结[31-35]。

4　结论

目前，北京市设施土壤仍存在施肥量过高、养分富集、土壤障碍严重等问题。设施蔬菜氮、磷、钾施用比例显示，目前养分投入呈现氮、磷肥比例偏高而钾肥比例过低，目前种植户在底肥和追肥环节普遍采用高磷高钾的复合肥，导致磷肥过量投入，造成浪费。按照北京市化肥减量要求，根据不同地域土壤肥力及种植作物差别，应继续开展测土配方施肥工作，建议推广根据作物生长所需养分制定合理的施肥技术，开发和推广适用于底肥和追肥的低磷高钾肥料，提高养分利用效率。

京郊有机肥主要来源于鸡粪、牛粪、羊粪等畜禽粪便，农户习惯施用速效养分高的鸡粪，对秸秆堆制而成的商品有机肥品质存在不信任的情况，建议设施蔬菜在有机肥选择上畜禽粪便和秸秆堆肥并重，避免过量施用畜禽粪便造成土壤酸化和次生盐渍化等问题。尤其是北京市近年来大力推广有机肥补贴工作，应该向农户倾斜，逐渐改变农户常规施肥习惯，达到化肥减量效果。

参考文献：

[1]　陈玛琳，陈俊红，龚晶，等. 产业集群视角下北京设施蔬菜产业发展的思考 [J]. 北方园艺，2022（7）：127-132.

[2]　文方芳，贾小红，廖红，等. 京郊露地菜田施肥状况与土壤有效养分年际变化调研 [J]. 中国蔬菜，2015（10）：63-67.

[3]　王兰，石建红，孟卫东. 北京市怀柔区耕地土壤养分演变特征研究 [J]. 安徽理工大学学报（自然科学版），2019，39（2）：25-31.

[4]　高莹，孙喜军，吕爽，等. 西安市设施菜地土壤养分状况分析 [J]. 陕西农业科学，2021，67（6）：50-56.

[5]　王学霞，陈延华，王甲辰，等. 设施菜地种植年限对土壤理化性质和生物学特征的影响 [J]. 植物营养与肥料学报，

2018，24（6）：1619–1629.
［6］ 靳慧霞，陈寒玉，陈纪算，等. 耕作模式对设施菜地根际土壤微生物群落和盐渍化的影响［J］. 中国农学通报，2017，33（15）：110–116.
［7］ 宋蒙亚，李忠佩，吴萌，等. 不同种植年限设施菜地土壤微生物量和群落结构的差异［J］. 中国农业科学，2015，48（18）：3635–3644.
［8］ 王亚男，曾希柏，王玉忠，等. 施肥模式对设施菜地根际土壤微生物群落结构和丰度的影响［J］. 生态学杂志，2015，34（3）：826–834.
［9］ 张怀志，唐继伟，袁硕，等. 津冀设施蔬菜施肥调查分析［J］. 中国土壤与肥料，2018（2）：54–60.
［10］ 王克安，杨宁，李絮花，等. 不同种植年限日光温室土壤养分变化规律研究［J］. 山东农业科学，2010（9）：56–59.
［11］ 杨慧，谷丰，杜太生. 不同年限日光温室土壤硝态氮和盐分累积特性研究［J］. 中国农学通报，2014，30（2）：240–247.
［12］ 张卫东，朱丽娟，秦岭，等. 北京市昌平区草莓日光温室土壤养分评价［J］. 北京农业，2010（S1）：174–176.
［13］ 朱良，李良，韩国君，等. 日光温室种植年限对土壤养分与土壤微生物数量的影响［J］. 甘肃农业大学学报，2017（3）：33–36.
［14］ 司美茹，赵云峰. 不同种植年限菜田土壤微生物区系的研究［J］. 微生物学杂志，2009，29（2）：71–75.
［15］ 张国红，任华中，高丽红，等. 京郊日光温室土壤微生物状况和酶活性［J］. 中国农业科学，2005，38（7）：1447–1452.
［16］ 曹慧，杨浩，孙波，等. 不同种植时间菜园土壤微生物生物量和酶活性变化特征［J］. 土壤，2002（4）：197–200.
［17］ 杨琴，李良敏. 种植年限对蔬菜日光温室土壤微生物区系和酶活性的影响［J］. 应用生态学报，2013，24（9）：2539–2544.
［18］ 高晶晶，彭超，史清华. 中国化肥高用量与小农户的施肥行为研究－基于1995—2016年全国农村固定观察点数据的发现［J］. 管理世界，2019，35（10）：120–132.
［19］ Zhou J B，Chen Z J，Liu X J，et al. Nitrate accumulation in soil profiles under seasonally open–sunlight greenhouses in northwest–China and the leaching potential for its loss during the summer fallow［J］. Soil Use Manage，2010，26：332–339.
［20］ Carpenter S R. Phosphorus control is critical to mitigating eutrophication［J］. PNAS，2008，105：11309–11040.
［21］ Carstense J，Andersen J H，Gustafsson B G，et al. Deoxygenation of the Baltic Sea during the lsat century［J］. PNAS，2014，111（15）：5628–5633.
［22］ 张守才，赵征宇，孙永红，等. 设施栽培番茄的氮磷钾肥料效应研究［J］. 中国土壤与肥料，2016（2）：65–71.
［23］ 陈连发，邹志荣，李建明. 不同氮钾肥水平对温室番茄生长发育和产量的影响［J］. 西北农业学报，2010，19（1）：121–125.
［24］ 褚屿，骆洪义，林举梅，等. 番茄对氮磷钾及中微量元素的吸收规律研究［J］. 中国土壤与肥料，2021（1）：247–255.
［25］ 高峻岭，宋朝玉，黄绍文，等. 青岛市设施蔬菜施肥现状与土壤养分状况［J］. 山东农业科学，2011（3）：68–72.
［26］ 张彦才，李巧云，翟彩霞，等. 河北省大棚蔬菜施肥状况分析与评价［J］. 河北农业科学，2005，9（3）：61–67.
［27］ 刘文希，雷忻，王秀康，等. 施肥方式与施肥量对番茄生长及养分吸收利用的影响［J］. 延安大学学报（自然科学版），2022，41（1）：39–41.
［28］ 韩雪，曲梅，李银坤，等. 不同施肥水平对温室番茄生长、氮吸收及产量品质的影响［J］. 中国土壤与肥料，2021(2)：162–169.
［29］ 韩晓日，郑国砥，刘晓燕，等. 有机肥与化肥配合施用土壤微生物量氮动态、来源与供氮特性［J］. 中国农业科学，2007，40（4）：765–772.
［30］ 李远新，李进辉，何莉莉，等. 氮磷钾配施对保护地番茄产量及品质的影响［J］. 中国蔬菜，1997（4）：10–13.
［31］ 张瑞福，颜春荣，张楠，等. 微生物肥料研究及其在耕地质量提升中的应用前景［J］. 中国农业科技导报，2013，15（5）：8–16.
［32］ 张昕怡，王延志. 微生物肥料在土壤改良和农作物生产中的应用［J］. 乡村科技，2021，12（14）：61–62.
［33］ 赵岑，赵新宇，王梦娇，等. 微生物肥料对土壤的改良作用及在农作物生产中的应用［J］. 农业与技术，2018（14）：22.
［34］ 杨东敏，徐圣君，曾贤桂，等. 浅析施用微生物肥料对土壤质量的影响［J］. 环境保护科学，2020（3）：138–142.
［35］ 武杞蔓，张金梅，李玥莹，等. 有益微生物菌肥对农作物的作用机制研究进展［J］. 生物技术通报，2021，31（5）：221–230.

Preliminary study on fertilization and soil fertility of facility vegetable fields in Beijing

YAN Shi[1]，YU Yue-yue[1]，LIANG Jin-feng[1]，GUO Ning[1*]，LIU Yu[1]，ZHAO Kai-li[1]，LIU Lei[2]（1. Beijing Cultivated Land Construction and Protection Center，Beijing 100101；2. Beijing Tongzhou District Agricultural Technology Extension Station，Beijing 101101）

Abstract: In order to master the fertilization and soil fertility status of facility vegetable fields in the suburbs of Beijing，through questionnaires，household surveys，field interviews and field sampling，the in-depth research on the production were conducted. It was found that the average yield of greenhouse tomatoes in the suburbs of Beijing was 82539 kg，the average input of organic fertilizer was equivalent to 200.10 kg of pure N，137.25 kg/hm^2 of P_2O_5 and 348.75 kg of K_2O，and the average input of chemical fertilizer was equivalent to 429.60 kg/hm^2 of pure N，294.15 kg/hm^2 of P_2O_5 and 483.00 kg/hm^2

of K_2O. The organic matter content of facility soil planted for 0 ~ 15 years increased rapidly with the planting years, and then the increase slowed down and remained relatively stable. The organic matter content of facility soil planted for more than 15 years decreased slightly. Soil available phosphorus and available nitrogen content increased first and then decreased with the increase of planting years, and reached the highest value in 11 ~ 15 years. Soil available potassium content decreased with the increase of planting years. In terms of soil biological fertility, bacteria were dominant in facility soils with different planting years, followed by actinomycetes, and fungi were the least. With the increase of planting years, the total number of soil bacteria and microorganisms increased first and then decreased, and the total number of bacteria and microorganisms in the facilities with planting years of 11 ~ 15 years was the highest. The activities of soil invertase, dehydrogenase and urease decreased with the increase of planting years. In this paper, the current situation of fertilization and soil fertility in facility vegetable fields in Beijing suburbs was preliminarily understood, which provided a basis for scientific management of facility vegetable fields in Beijing suburbs.

Key words: facility vegetable fields; fertilization; soil fertility