

设施农业中存在的土壤障碍及其对策研究进展

何文寿

(宁夏大学科技处 银川 750021)

摘 要 本文综述了我国设施农业栽培中存在的土壤障碍问题及其对策的研究进展。根据我国各地研究报告,设施栽种土壤存在的主要障碍是某些理化性状和生物学环境恶化、连作障碍明显。为此前人研究提出了解决设施农业中土壤障碍问题的主要对策,包括合理轮作、合理施肥、防治次生盐渍化、土壤消毒和选用抗性品种等。同时讨论了设施土壤质量的评价指标,并分析提出了今后设施农业土壤需进一步研究的问题。

关键词 设施农业;土壤障碍;调控措施

中图分类号 S512.4

设施农业(facility/Installation agriculture)是指具有一定设施、在局部范围改善或创造环境因素,为动植物生产提供良好环境条件而进行的高效农业生产方式^[1]。广义的设施农业包括设施栽培和设施养殖,狭义的设施农业主要指设施栽培,包括设施蔬菜、瓜果、花卉等。设施农业是我国农业战略性结构调整的一个重要方向,是农业增效、农民增收的一项重要手段。目前发展迅速,已成为我国农业中最有活力的新产业之一,为菜篮子工程建设起到了巨大作用,取得了显著的经济、社会和生态效益^[2,3]。但设施农业栽培改变了土壤环境,其温度、湿度、光照等都发生了很大变化,土壤经常处于高温、高湿、高蒸发、无雨水淋溶的环境中。在这种生态环境条件下,如多年连作、肥水管理不合理等,容易造成某些土壤理化和生物学性状恶化、连作障碍明显、土传病虫害增多、产量低、品质劣等一系列问题,影响设施农业生产的可持续发展^[2~50]。前人已对我国设施农业中出现的一些土壤障碍问题及其对策进行了研究,本文就此研究进展作一综述,并探讨今后需进一步研究的问题,为我国设施农业的健康持续发展提供科学依据。

1 我国设施农业中存在的土壤障碍问题

1.1 土壤某些理化性状恶化

1.1.1 土壤某些物理性质变劣 多数研究认为,设施土壤与露地土壤相比较,随着种植年限的增加,设施土壤的水稳性团聚体(0.25~2 mm)数量增加,

土壤容重变小,总孔隙度增大,土壤物理结构性能有所改善,毛管孔隙较发达,持水性变好^[4~9]。由于棚内受高温、高湿条件的影响,土壤粘化作用明显,细颗粒组分较高^[9]。但也有人研究认为,设施土壤连续栽培5年后,由于设施栽培管理精细,踏踩镇压频繁,土壤结构破坏严重,存在不同程度的土壤板结。主要表现是土壤容重增大,土壤通气孔隙比例相对降低,耕作层变浅,土壤通气透水性变差,物理性状不良^[10,11]。由此可见,前人的研究结果不尽一致,这主要取决于栽培管理水平。根据前人的研究结果和生产实践,注重增施有机肥料,深耕松土,减少在设施土壤中的作业次数和踩踏,设施土壤的物理性质会有所改善,疏松多孔,土壤容重变小。否则,会出现不同程度的土壤板结,土壤容重增大。

1.1.2 土壤某些化学性质变差 土壤化学性质变差表现在下列两个方面。

(1) 土壤次生盐渍化现象严重:设施农业土壤与露地土壤相比,其表层易发生次生盐渍化,土壤含盐量随着栽种年限的增加而增加,从而导致土壤某些化学性状变劣,设施农作物产量和品质下降^[5]。这种次生盐渍化的程度与不同设施条件有关。对于全年性覆盖的玻璃温室和塑料温室,土壤终年处于积盐过程,次生盐化发生早且盐害严重。据报道,玻璃和塑料温室耕层土壤(0~25 cm)盐分分别为露地的11.8倍和4倍,硝酸根含量则更高,分别为露地的16.5倍和5.9倍,一般种植2~3年即出现盐害^[12]。硝酸根是温室土壤盐渍化过程中增加最多的组分,

其含量与盐分含量呈正相关,表明硝酸根的积累是引起土壤次生盐化的原因之一,也是造成设施蔬菜生理障碍的主要土壤因子。此类设施土壤缺乏排水洗盐条件,硝酸盐积聚迅速,通常3~5年后严重影响蔬菜产量和品质^[6, 11]。对于塑料大棚和日光温室等季节性揭棚设施,土壤受到雨水淋洗,积盐程度比全年性覆盖的设施轻^[11]。普通薄膜的塑料大棚是冬春覆盖,夏秋揭膜,土壤盐分全年有明显的消积过程,但随使用年限的增长,大棚内土壤表层盐分含量较露地有明显提高,土体内土壤盐分和硝酸盐含量逐年增加,地下水的矿化度也随之逐年提高,一般使用5年左右,如不注意防治,即可出现盐害^[12, 13]。也有研究认为,种植8年以上出现土壤次生盐渍化^[4]。据何文寿测定宁夏峡口栽种3~10年的日光温室蔬菜土壤,其盐分含量比露地菜田高0.5~3倍,且随棚龄延长而明显上升。由此可见,不论是全年性覆盖或季节性覆盖的大棚、温室,土壤表层都有不同程度的积盐,且随着栽种年限的增加而增加,土壤剖面中硝酸盐含量剧增。

根据前人的研究报道,造成设施土壤盐渍化加重的原因是多方面的^[9~16]。水分蒸发强烈:设施栽培与露地栽培不同,长年覆盖或季节性覆盖改变了自然状态下土壤水分的运动方向,因设施棚室内温度较高而蒸发量大,水分的运动方向总是由下向上移动,使深层水分不断通过毛细管作用上移,溶解其中的盐分随之移至土壤表层而聚积。灌溉方法不当:在设施栽培条件下,为了保持土壤湿度和降低地温,人们习惯采用“小水勤浇”的灌溉方法,不但不能把土壤表层盐分带到土壤深层,而且还易把盐分聚集在表层。施肥量大且不合理:设施栽培条件下,复种指数高,产出量大,往往施肥量大,特别是N肥施用量大,而且施肥次数多,土壤极易累积硝酸盐和加剧次生盐渍化。过量施用未腐熟的有机肥料,因在土壤耕层中分解后易残留各类无机盐和有机盐,也易造成土壤盐渍化。缺少雨水淋洗:长年覆盖的温室和大棚,没有雨水淋洗;季节性覆盖的设施缺少雨水淋洗。加之设施栽培条件下土壤水分的向上运动即土壤蒸发比露地强烈,灌溉后向下渗漏排水受阻,地表容易积盐。另外,若经常种植不耐盐的蔬菜,如豆类、黄瓜等,会加重土壤盐渍化。地下水位较高:对于宁夏引黄灌区,地下水位较高,土壤本身的含盐量较大,设施土壤更易发生次生盐渍化。据第2次土壤普查资料,引黄

灌区12个市、县耕地面积中,轻、中、重盐渍化面积占41.5%,尤以银北地区最重,盐渍化面积高达64%,土壤盐渍化和次生盐渍化是宁夏引黄灌区农业发展的主要制约因素之一^[17]。

土壤盐分聚集的危害性极大,作物障碍表现明显^[18~22]。土壤盐分积累,造成土壤溶液浓度增加,使土壤的渗透势加大,作物根系的吸水吸肥能力减弱,容易出现生理性干旱和生长发育不良,轻则植株生长矮小,发育迟缓;重则叶片变褐,边缘变枯黄,根毛变褐或腐烂,最终导致死苗。随着盐分浓度的升高,土壤有益微生物的数量减少,活性降低,土壤养分的转化受到抑制。如 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 向 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 的转化速度下降,但大多数蔬菜属喜 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 作物,被迫吸收 $\text{NH}_4^+\text{-N}$,叶色变深,甚至卷叶,生育不良,甚至造成氨毒害。土壤溶液浓度过高,营养元素之间的拮抗作用明显,影响到作物对某些元素的吸收,存在潜在离子危害。如N施用过量,产生过多的铵离子,抑制作物对 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 的吸收,造成养分吸收不平衡,不仅作物生长受到危害,而且农产品品质下降。土壤盐分聚集,还导致植株抗病虫害能力大大降低。因此,如何防止设施农业土壤次生盐化是当前亟待研究解决的重要问题。

(2) 土壤pH值下降,存在土壤酸化问题:多数研究者发现,与露地栽培土壤相比,不论是全年性覆盖还是季节性覆盖的温室和大棚,随着种植年限的延长,土壤pH值有下降趋势,存在土壤酸化,土壤的缓冲性能也降低,这主要是由于N肥或生理酸性化肥施用过多造成的^[4, 6, 9, 15]。

1.1.3 土壤养分不平衡,某些养分有亏缺现象

设施栽培条件下,复种指数高,产出量大,需要吸收和消耗的养分多,施肥量大。据山东、黑龙江、宁夏等地的调查结果表明,设施土壤耕层土壤有机质、全N、碱解N、速效P、有效Cu、Fe、Mn含量均高于相邻粮田,主要原因是大量施肥所致。而有效Ca、Mg、Si、B表现亏缺,有效K和Zn有增有减。随着耕种年限的增加,K和中微量元素处于亏缺状态。由于设施栽培以果、菜为主,对K和Ca等的需求量大,而农民习惯施肥是重施N肥和P肥,轻视K肥、Ca肥和微量元素肥料,造成土壤养分种类不平衡,某些累积而某些亏缺,导致作物生理缺素和抗逆性降低,病虫害时有发生。若长期种植单一作物,会造成某些土壤养分过度消耗,导致土壤养分极不均衡和连作障碍,作物极易发生生理病害。

如大棚番茄缺Ca易出现脐腐病、白菜缺Ca出现心腐病、番茄N多缺K引起筋腐病、黄瓜高湿缺K引起真菌性霜霉病、番茄P多缺B出现裂果病等缺素症状^[5, 7, 8, 11, 13, 14]。从设施栽培的年限来看,随着设施栽培年限的延长,土壤有机质和N、P、K速效养分含量有下降趋势。据何文寿测定宁夏峡口大棚蔬菜土壤,栽种3、5、7和10年的大棚蔬菜土壤,其耕层有机质含量分别为2.34%、2.04%、1.88%、1.10%。另外,施肥方法不合理,也是造成土壤养分不平衡和果菜品质下降的重要原因之一。如何合理施用化肥和有机肥,提高设施农业的土壤肥力,生产优质高效无公害的农产品,是当前亟待研究解决的重要问题。

1.2 土壤生物学环境恶化

1.2.1 土壤中自毒产物积累加剧 设施栽培中,作物根系分泌有毒物质和残枝落叶分解过程中产生的自毒物质,降低了栽培作物的根系活性,抑制了根系生长^[9]。作物残体在其分解过程中会产生一些植物毒素,抑制下茬作物的生长,这种观点在大田作物上报道较多^[10, 23]。有人认为大豆残体经腐解后,可产生一些抑制自身生长发育的物质,破坏细胞膜的稳定性,降低产量,但对禾本科作物无不良影响,甚至对玉米生长有促进作用,而禾本科作物的残茬在大豆连作土壤中也无不良影响,并且对连作大豆的生长发育有一定的益处。作物残茬在微生物的作用下,在降解过程中可能会产生一些对同一种或同一科作物生长不利的物质,或因作物残体的病原菌积累,从而成为作物连作障碍的重要因子^[10]。

1.2.2 作物根系分泌物与连作障碍 根系分泌物是植物在生长过程中通过根的不同部位向生长基质(如土壤、营养液等)中溢泌或分泌的一组种类繁多的复杂物质,主要包括下列3种类型: 渗出物:根细胞中被动扩散出来的一类低分子量的化合物。

分泌物:根系代谢过程中细胞主动释放的物质。

粘胶质、脱落物:根冠细胞、未形成次生壁的表皮细胞和根毛上的粘胶状物质及脱落的细胞碎片。根系分泌物的数量和种类受植物种类、品种或基因型、生育时期及根系部位、土壤温度、土壤坚实度(机械阻抗)养分胁迫、微生物的刺激作用等多种因素的影响。根系分泌物的作用既有积极的一面,也有消极的一面。一方面根系分泌物可以改变根际土壤物理、化学、生物学性质,增加根际土壤养分的生物有效性,特别是根分泌物可活化土壤中难利用的元素将其转变为可利用状态,有利于植株养分

吸收和生长发育。同时根系分泌物为根际微生物提供了大量能源物质,促进微生物的活性和数量增加,进而促进养分活化。另一方面,根系分泌物的有些物质抑制其他植物根系的生长(异株相克现象),或刺激有害微生物的生长和繁殖,危害下茬作物即连作障碍^[10]。有研究表明,植物缺Zn时,根细胞内Cu、Zn超氧化物歧化酶(SOD)活性下降,而NADPH氧化酶活性增加,细胞内自由基大量累积产生毒害作用,使细胞质产生过氧化作用,膜结构破坏,透性增加,根溢泌的无机离子和低分子量有机化合物如氨基酸、碳水化合物和酚类化合物的数量大大增加。而酚类化合物是植物生长的抑制物,其数量增加会抑制植物生长^[23]。

1.2.3 土壤微生物区系失衡,有害微生物增加,土传病害严重 土壤微生物总量、活性和有益微生物数量是评价土壤活性高低的重要指标。在设施栽培条件下,由于土壤次生盐渍化、自毒物质的积累等原因,土壤有益微生物的生长受到抑制,而有害微生物大量繁殖,使土壤微生物区系发生了很大变化,导致了微生物和无机物的自然平衡破坏,造成肥料分解转化过程受阻,土壤病菌和病害蔓延。同时,随着连作年限和次数的增多,细菌的种类和数量减少,而有害真菌的种类和数量增加,寄生型长蠕孢菌大量滋生,作物病害严重^[9, 10, 24, 25]。据报道,设施土壤中的硝酸细菌(nitrate bacteria)和亚硝酸细菌(nitrite bacteria)数量高于露地,而且随着种植年限的延长,硝酸细菌数量降低,而亚硝酸细菌数量增加,土壤亚硝酸盐积累增多^[8, 9, 11, 24-26]。南京农业大学的研究结果表明,在第1年的大棚土壤中,优势真菌为腐生型真菌,它们是土壤中纤维素、木质素的分解菌。5年后土壤中的优势真菌转为寄生型,病原性长蠕孢、交链孢等霉菌增加^[9]。

1.2.4 土壤根结线虫危害 在设施栽培条件下,由于种植品种单一,作物连作后,根系自毒产物增多,抵抗力下降,为根结线虫侵染提供了条件,客观上促进了线虫的发生与发育。在高温、干旱、沙性土壤中,大棚连作的黄瓜、番茄上,根结线虫的发生和危害相当严重,虫口密度可达1 g土中含300条^[9]。

1.3 连作障碍明显

所谓连作障碍是指同一作物或近缘作物频繁连续种植后,即使在正常管理情况下,也会导致作物生长发育不良、产量降低、品质变劣、土传病虫害

增多、土壤养分亏缺等现象。引起作物连作障碍的原因十分复杂,是作物-土壤两个系统内部诸多因素综合作用的表现结果,不同作物产生连作障碍的原因是不同的^[20~30]。日本泷岛将产生连作障碍的原因归纳为5大因子: 土壤养分亏缺; 土壤反应异常;

土壤物理性状恶化; 来自植物的有害物质; 土壤微生物变化。同时强调,在这5大因子中,土壤微生物的变化是连作障碍的主要因子,其他为辅助因子^[31]。从国内研究结果来看,多数研究者认为产生连作障碍的原因主要有: 土壤理化性质恶化: 包括土壤物理性质不良,耕层盐分积聚,土壤养分不平衡等。土壤生物学环境恶化: 包括土壤中自毒产物积累加剧,根系分泌物和土壤有害微生物增加,土壤根结线虫危害等^[10, 26~30]。近年来国内外对根系分泌物的研究又成为揭示连作障碍机制的研究热点。有人从黄瓜根分泌物中分离出11种酚类物质,其中有10种酚类物质具有生物毒性。当黄瓜连续种植时,根系分泌的酚类物质积累,抑制下茬作物生长^[32]。据南京农业大学的研究报道,黄瓜连作后根系分泌苯丙烯酸和苯甲酸类的酚酸化合物积累过量,根系脱氢酶、ATP酶和硝酸还原酶活性急剧下降,根系失活,重者导致根系死亡^[9]。

在设施栽培条件下,为在短期内充分发挥保护地效能,人们往往频繁连作果、蔬,并且施肥量较大,由此导致连作障碍,主要表现为: 土传病虫害增多: 如青枯病、早疫病、炭疽病、枯萎病、软腐病、根结线虫病等。土壤害虫种群繁衍增加: 如蝼蛄,韭蛆等。一般认为,前茬作物的根分泌物能刺激某些有害微生物的生长和繁殖,这些微生物会抑制下茬同一类作物的生长,从而造成连作障碍。

养分比例失调: 某些土壤养分严重亏缺,引起蔬菜出现缺素症状。蔬菜作物不但对N、P、K的需求量较大,而且对Ca、Mg等中量元素和微量元素的需要量也较大。往往在施肥实践中,容易忽略Ca、Mg肥和微量元素肥料,使其在土壤中的有效含量消耗过度,易发生生理病害。如大棚番茄缺Ca易出现筋腐病、脐腐病、空洞果等缺素症状。而某些土壤养分相对过剩,甚至出现毒害作用。作物营养的不均衡还可能导致根系分泌物的变化,进而间接引起连作障碍。由此导致体内各种养分比例失调,植株生长发育受阻,抗病虫害能力下降,产品品质变劣^[26~31]。有人研究大棚番茄结果表明,连作2~4年其根系活力无显著差异,而连作8年的根系活力与连作2~4

年相比活力下降,品质也变劣,维生素C含量降低,糖酸比降低,硝酸盐累积明显^[33]。

2 解决设施农业中土壤障碍问题的主要对策

2.1 合理轮作,改善栽培制度

不同作物间进行合理轮作是防止连作障碍的最佳措施。首先,根据不同蔬菜的科属类型、根系深浅、吸肥特点及分泌物的酸碱性等特性,制定合理的蔬菜轮作制度,实行有计划地轮作换茬,能有效防止连作障碍的发生^[29~31]。例如黄瓜-番茄-菜豆-菜花轮作等,既能吸收土壤中不同的养分,又可通过换茬减轻土传病害的发生,提高单位面积产量和品质。连作同一作物或同缘作物会使特定的病原菌繁殖,轮作之后可以断绝病原菌的营养源,减轻病害的发生。其次,改变栽培时期,错过发病期进行种植。例如在高温期易发生的病害,在栽培上要错过高温期,或在高温前采取预防措施,可减轻连作障碍的发生。但在很多情况下,为了提高经济效益,又不得不进行某些蔬菜的连作。所以,还必须采取其他措施来防止或减轻连作障碍的发生。

2.2 合理施肥

在设施栽培中,科学、合理施用化肥和有机肥料,可以防止土壤理化性质和生物学性质恶化以及环境污染,减轻连作障碍和病虫害的发生,提高蔬菜产量和改善品质。根据前人的研究报道,要真正做到合理施肥,应注意以下几点。

2.2.1 选择肥料种类 肥料的种类很多,性质差异很大;而果蔬种类也繁多,生长发育特性和收获产品器官也不同,必须根据肥料的性质和栽种果菜的营养特性,因地制宜地选择使用。

2.2.2 确定适宜施肥量 蔬菜作物产量高,产出量大,需要的养分多。应根据设施土壤养分状况和蔬菜需肥规律,确定合理的施肥量。确定施肥量的方法有养分平衡法、土壤养分肥力指标法、田间试验法和作物营养诊断等。目前设施栽培中的施肥量较大,特别是N肥用量过大,既造成肥料浪费、病虫害蔓延和产品品质下降,又导致土壤盐渍化和环境污染。多数研究认为,设施栽培中N肥用量大,土壤中硝酸盐积累较多,而且种植时间越长,硝酸盐积累越多;同时土壤中的 NO_3^- -N含量与盐分含量呈正相关,表明硝酸根的积累是引起土壤次生盐化的原因之一^[34~39]。因此,有人建议用前茬作物收获后土壤 NO_3^- -N含量来确定施N量,是防止土壤次生

盐渍化和硝酸盐积累最有效的措施^[9, 12]。

NO_3^- -N是蔬菜吸收的主要N素形态，而且在体内易于富集。它本身对植物并无毒害作用，但人通过食用蔬菜摄入过量的硝酸盐，在体内还原成亚硝酸盐，会造成智力迟钝。亚硝酸盐进一步还原形成的亚硝胺，医学证明是引起胃癌和肝癌的致癌物质。因此， NO_3^- -N含量是蔬菜作物的重要品质指标之一。因为人体摄入的硝酸盐80%来自蔬菜，控制蔬菜中硝酸盐含量的积累，是生产无公害蔬菜和减少对人体危害的一条重要途径^[38]。目前研究认为控制蔬菜硝酸盐含量的主要措施有：控制N肥用量、增施有机肥料、平衡配方施肥、增强光照等^[11, 34, 38~40]。

2.2.3 平衡配方施肥 首先，根据蔬菜作物的需肥特点，考虑营养元素之间的合理搭配。蔬菜需N量大，同时又是喜 NO_3^- -N作物；对K和Ca的需求量也大，对B和Mo比较敏感，这些营养特点都是蔬菜合理施肥的重要依据。有研究指出，保护地施肥应控制N、P肥用量，适当增加K、Ca、Mg肥和B、Zn等微肥的补充^[7]。其次，应适量增施腐熟的有机肥料，以提高土壤有机质含量，改善土壤结构，延缓土壤盐渍化过程，但对禽粪施用量不要太大，以防烧苗。N肥施用量大的土壤可增施C/N比较大的半腐熟有机肥如作物秸秆，以降低土壤溶液浓度，缓解盐害^[41, 42]。再次，慎施微肥。单施微肥容易过量而造成毒害，因此一般情况下可用养分较全面的有机肥来提供微量元素^[15, 41]。

2.2.4 改进施肥方法 基肥最好将化肥与有机肥混合深施，追肥要确定追施时期并严格控制每次的施肥量，做到少量多次。提倡根外追肥，如用尿素、磷酸二氢钾、微肥等在作物生育期间叶面喷施，以纠正缺素症状和减少生理病害的发生，不会造成土壤性质变化。

2.3 防治土壤次生盐渍化

根据前人的研究结果和经验^[11, 12, 15, 18, 38, 41, 42]，防治土壤次生盐渍化的措施有：控制N肥用量，改进施肥方法。改进灌溉技术，以水洗盐：设施栽培的灌水方法应与大田有所不同，灌水不宜小水勤浇，而每次灌水应浇足浇透，将表土积聚的盐分淋洗至深层。若采取滴灌、膜下滴灌等节水灌溉技术，可防止土壤次生盐渍化，提高作物的抗病性。

埋设双层有孔塑料暗管，采取垂直排水洗盐方法。

生物洗盐：利用温室夏季休闲时，选种生长快速、吸肥力强的苏丹草，有一定的除盐作用。农业综

合防治：利用夏秋季换茬空隙，揭膜、深翻、雨水或灌水洗盐。施用C/N比较大的半腐熟有机肥或秸秆，进一步腐熟时土壤微生物吸取土壤溶液中的N素，并暂时加以固定，从而降低土壤溶液的盐分浓度和渗透压，缓解盐害。应用地膜、稻草麦秸等覆盖物，减少水分蒸发和降低盐分的上升速度，从而有效抑制土壤表层盐分的积累。

2.4 土壤消毒

随着设施栽培生产的发展，特别是连作后，土壤有害微生物和病虫害增多，多种土传病危害突出，已成为限制设施农业发展的重要因素，采用土壤消毒(灭菌)方法可消除或减轻危害^[14, 15, 43~46]。具体方法有：药洁法：可用福尔马林拌土或用硫磺粉熏蒸杀菌，也可用药液喷浇或拌药土沟施、穴施处理土壤。此种方法持续时间短，成本较高，其防治效果不十分理想。高温法：高温季节，灌水后高温闷棚，有条件的也可采取给土壤通热蒸汽杀虫灭菌，可大大减轻菌核病、枯萎病、软腐病、根结线虫、红蜘蛛及多种杂草的危害。低温冷冻法：冬季严寒，北方不能利用的保护地，可撤膜后深翻土壤，冻死病虫及虫卵。熏蒸法：引用国外蒸汽或溴甲烷熏蒸土壤，此法价格昂贵，不便大面积推广。日光法：夏季闲茬时期，深翻土壤，撤掉棚膜，利用阳光紫外线高温消毒杀菌。此种方法防治土传病害，效果良好。残茬处理：为了防止残茬带菌和初染病株的蔓延，应及时清除初染病株和残茬，方法是焚烧或高温堆积，消灭病菌。处理后的土壤应特别注意防止有害病菌的再传入。

2.5 选用抗性品种和使用生物制剂

国内外已选育出很多对一些病虫害(如凋萎病、黄萎病、黑腐病、根结线虫等)具有抗性的蔬菜品种，根据条件可选择引用。但需注意即使是抗性品种，也不能保证完全不发病。对于有盐渍化现象的土壤，可选择耐盐能力较强的蔬菜(如菠菜，芹菜，韭菜，茄子，番茄，莴苣等)种植。

有试验证明，使用比嘉照夫研发的EM(effective microorganisms)生物制剂对土壤进行处理，能有效抑制茄子和黄瓜的连作病害，减少农药的使用，增加土壤有效养分含量，增加土壤微生物总量，提高土壤生物活性^[47]。

3 设施农业土壤质量的评价指标

土壤质量是近年来土壤学研究的一个热点，一

般定义为：土壤在生态系统的范围内，维持生物的生产力、保护环境质量以及促进动植物健康的能力^[48]。其评价指标包括土壤物理学指标（即土壤质地、土层与根系深度、容重、孔隙度、水分、温度等）、土壤化学指标（即有机全C和N、pH、盐分、矿化NPK等）、土壤生物学指标（即土壤微生物、土壤酶活性、根系分泌物、作物残茬等）等^[48~53]。关于设施农业土壤质量指标的研究，尚未检索到文献。设施土壤的研究多数集中在养分、盐分、pH、硝酸盐等的变化上，至于栽培若干年或连作后，土壤质量演变规律的系统研究尚未见报道。

4 设施农业土壤需进一步研究的问题展望

近年来，我国设施农业发展迅速，栽培面积逐年扩大，设施果菜的总产量逐年上升，对于改善人们的食物结构和提高农业的经济效益等方面，起到了积极地作用。但随着设施栽种年限的延长或连作，出现了许多土壤障碍问题，前人对此进行了大量研究，提出了一些防治措施，在生产实践中发挥了良好作用^[54~57]。但对一些地区而言，仍存在不少问题，还需进一步研究解决。

4.1 设施农业土壤次生盐渍化的防治问题

针对不同地区和设施条件，探明产生次生盐渍化的原因，研究提出切实可行的防治措施，仍然是设施栽培生产中亟待研究解决的重要问题。

4.2 硝酸盐污染问题

一方面应加强土壤环境的监测和硝酸盐污染的治理技术研究，另一方面研究设施栽培中N肥的合理施用技术，包括确定适宜施N量、选择N肥品种和科学施N方法^[58]。同时，应加强蔬菜硝酸盐积累控制措施的研究。

4.3 连作障碍问题

研究连作障碍的原因及其防止措施，包括设施土壤理化性质和生物学性质的演变规律、障碍因子间相互关系、合理轮作等防止对策。

4.4 土传病虫害问题

研究连作后土传病虫害的种类、表现以及土壤消毒技术，特别应加强无公害的土壤灭菌实用技术研究。

4.5 土壤自毒产物积累问题

主要研究根系分泌的有毒物质、残枝落叶分解过程中产生的自毒物质与根系生长、土壤微生物、环境污染的关系，根系分泌物中什么物质引起病原

菌增殖等问题。

4.6 设施农业中的平衡施肥问题

根据设施土壤的供肥特点和果蔬作物的吸肥规律，如何确定合理施肥量与施肥方法，并考虑各种营养元素之间的合理搭配，进行平衡配方施肥，以提高肥料利用率和经济效益，是今后需要研究的重要内容。特别是生产设施无公害农产品的设施调控技术是今后研究的重点。

4.7 设施土壤质量问题

一般土壤的质量评价指标已有研究，但设施土壤质量指标体系的构建及其演变规律的研究甚少，今后应加强这方面的研究。

参考文献

- 1 彭靖里, 安华轩, 马敏象, 刘建中. 国内外设施农业栽培技术发展及云南省的差距. 农业系统科学与综合研究, 2001, 17 (3): 236 ~ 240
- 2 廖允成, 王立祥. 设施农业与中国农业现代化建设. 农业现代化研究, 1999, 20 (1): 5 ~ 8
- 3 申泰雄, 姚玉林, 包颖. 设施农业的国内外现状与我省的发展对策. 农机化研究, 1999, (1): 5 ~ 10
- 4 赵凤艳, 吴凤芝, 刘德, 姚禾雨. 大棚菜地土壤理化特性的研究. 土壤肥料, 2000, (2): 11 ~ 13
- 5 吴凤芝, 刘德, 王东凯, 栾非时, 王伟, 刘元英. 大棚蔬菜连作年限对土壤主要理化性状的影响. 中国蔬菜, 1998, (4): 5 ~ 9
- 6 黄锦法, 李艾芬, 马树国, 张蚕生, 冯家俊, 项彩花, 杨春雄, 黄雪良. 浙江嘉兴保护地土壤障碍的农化性状指标研究. 土壤通报, 2001, 32 (4): 160 ~ 162
- 7 薛继澄, 毕德义, 李家金, 殷永娴, 吴志行. 保护地栽培蔬菜生理障碍的土壤因子与对策. 土壤肥料, 1994, (1): 4 ~ 9
- 8 肖千明, 高秀兰, 娄春荣, 孙文涛等. 辽宁省保护地土壤肥力现状分析. 见: 谢建昌等编著, 菜园土壤肥力与蔬菜合理施肥. 南京: 河海大学出版社, 1997, 52 ~ 56
- 9 李文庆, 贾继文, 李贻学. 大棚种植蔬菜对土壤理化及生物性状的影响. 见: 谢建昌等编著, 菜园土壤肥力与蔬菜合理施肥. 南京: 河海大学出版社, 1997, 76 ~ 79
- 10 王绪奎, 陈光亚. 设施农业中的土壤问题及对策. 江苏农业科学, 2001, (6): 39 ~ 42
- 11 吴凤芝, 赵凤艳, 刘元英. 设施蔬菜连作障碍原因综合分析与防治措施. 东北农业大学学报, 2000, 31 (3): 241 ~ 247

- 12 童有为, 陈淡飞. 温室土壤次生盐渍化的形成和治理途径研究. 园艺学报, 1991, 18 (2): 159 ~ 162
- 13 夏立忠, 杨林章, 王德建. 苏南设施栽培中旱作人为土养分与盐分状况的研究. 江苏农业科学, 2001, (6): 43 ~ 46
- 14 Wang Yu, Zhang Yiping. Quantitative effect of soil texture composition on retardation factor of K^+ transport. Pedosphere, 2001, 11(4): 377 ~ 382
- 15 藏壮望. 保护地土壤障碍与综合治理. 蔬菜, 2002, (6): 21 ~ 22
- 16 葛晓光. 设施蔬菜栽培的土壤障碍及克服途径. 中国蔬菜, 2000, (增刊): 16 ~ 19
- 17 王吉智主编. 宁夏土壤. 银川: 宁夏人民出版社, 1990
- 18 程美廷. 温室土壤盐分积累盐害及其防治. 土壤肥料, 1990, (1): 1 ~ 7
- 19 吴多三. 土壤盐类浓度障碍对蔬菜作物生产的影响. 蔬菜, 1987, (3): 1 ~ 4
- 20 吴志行, 石海仙, 董明光, 苏小俊. 大棚蔬菜连作障碍及土壤次生盐渍化原因及防止. 长江蔬菜, 1994, (5): 21 ~ 23
- 21 刘德, 吴凤芝. 哈尔滨市郊蔬菜大棚土壤盐分状况及其影响. 北方园艺, 1998, (6): 1 ~ 3
- 22 王学军. 日光温室土壤次生盐渍化分析. 北方园艺, 1998, (3, 4): 12 ~ 13
- 23 刘兆辉, 李小林, 祝洪林, 胡兆武, 江丽华. 保护地土壤养分特点. 土壤通报, 2001, 25 (5): 206 ~ 208
- 24 吴凤芝, 王伟. 大棚番茄土壤微生物区系研究. 北方园艺, 1999, (1): 1 ~ 2
- 25 李文庆, 杜秉海, 骆洪义, 丁方军. 大棚栽培对土壤微生物区系的影响. 土壤肥料, 1996, (2): 31 ~ 33
- 26 吴凤芝, 栾非时, 王东凯等. 大棚黄瓜连作对根系活力及其根际土壤酶活性影响的研究. 东北农业大学学报, 1996, 27 (3): 255 ~ 258
- 27 田坤发. 设施蔬菜病虫害的发生特点与防治对策. 湖北植保, 2000, (5): 16 ~ 17
- 28 汪立刚, 沈阿林, 孙克刚, 武继承. 大豆连作障碍及调控技术研究进展. 土壤肥料, 2001, (5): 3 ~ 7
- 29 张爱君, 张明普, 张洪源. 果树苗圃土壤连作障碍的研究初报. 南京农业大学学报, 2002, 25 (1): 19 ~ 22
- 30 张春兰, 张耀栋, 周权锁. 不同作物茬口对减轻蔬菜保护地土壤盐害及连作障碍的作用. 土壤通报, 1995, 26 (6): 257 ~ 259
- 31 泷岛. 防止连作障碍的措施. 日本土壤肥料杂志, 1983, (2): 170 ~ 178
- 32 Yu JQ, Matsui Y. Phytotoxic substances in root exudates of cucumber (*Cucumis sativus* L.). J Chem. Ecol., 1994, 20: 21 ~ 30
- 33 吴凤芝, 刘德, 王东凯, 栾非时, 王伟, 孔鲜鸣. 大棚番茄不同连作年限对根系活力及其品质的影响. 东北农业大学学报, 1997, 28 (1): 33 ~ 38
- 34 艾绍英, 杨莉, 姚建成, 罗文贱. 蔬菜累积硝酸盐的研究进展. 中国农学通报, 2000, 16 (5): 45 ~ 46
- 35 胡承孝, 邓波儿, 刘同仇. 施用氮肥对小白菜、番茄中硝酸盐积累的影响. 华中农业大学学报, 1992, 11 (3): 239 ~ 243
- 36 王朝辉, 李生秀, 田宵鸿. 不同氮肥用量对蔬菜硝态氮累积的影响. 植物营养与肥料学报, 1998, 4 (1): 22 ~ 28
- 37 沈明珠, 翟宝杰, 东惠茹, 李俊国. 蔬菜硝酸盐累积的研究. 不同蔬菜硝酸盐、亚硝酸盐含量评价. 园艺学报, 1982, 9 (4): 41 ~ 48
- 38 李海云, 邢禹贤, 王秀峰. 蔬菜硝酸盐积累的控制措施. 长江蔬菜, 2001, (4): 8 ~ 9
- 39 汤丽玲, 陈清, 张宏彦, 李晓林. 不同水氮处理对菠菜硝酸盐累积和土壤硝态氮淋洗的影响. 农业环境保护, 2001, 20 (5): 326 ~ 328
- 40 胡定金, Vlasssk K. 不同光强下硝酸根离子停供对菠菜硝酸盐含量的影响. 土壤肥料, 1993, (4): 27 ~ 30
- 41 张春兰, 朱建春, 葛祖慈. 有机物料对减轻蔬菜保护地土壤障碍因子的作用. 中国农学通报, 1996, 12 (4): 49 ~ 50
- 42 张春兰, 张耀东, 朱建春, 姚惠琳, 朱怡. 施用稻草对防治保护地土壤盐渍化的作用. 土壤, 1994, (3): 146 ~ 148
- 43 郑建秋, 师迎春, 许波, 张云, 曹华, 梅秀英. 日光能高温消毒土壤防治蔬菜土传病虫害. 中国蔬菜, 1999, (3): 39
- 44 宋尚龙, 张玉霞, 宋文顺. 菜田土壤的消毒技术. 长江蔬菜, 2002, (6): 25
- 45 朱国仁, 李宝聚. 设施蔬菜产业可持续发展的病虫害防治对策. 中国蔬菜, 2000, (增刊): 20 ~ 25
- 46 梁知洁, 陈捷, 白昆山, 张建中, 吴秋萍. 生物农药与设施农业病害的防治. 沈阳农业大学学报, 2001, 32 (1): 61 ~ 65
- 47 孙红霞, 武琴, 郑国祥, 王振忠. EM对茄子、黄瓜抗连作障碍和增强土壤生物活性的效果. 土壤, 2001, 33 (5): 264 ~ 267
- 48 赵其国, 孙波, 张桃林. 土壤质量与持续环境. I. 土壤质

- 量的定义及评价方法. 土壤, 1997, 29 (3): 113 ~ 120
- 49 孙波, 赵其国, 张桃林. 土壤质量与持续环境. 土壤质量评价的碳氮指标. 土壤, 1997, 29 (4): 169 ~ 175
- 50 孙波, 赵其国, 张桃林, 俞慎. 土壤质量与持续环境. 土壤质量评价的生物学指标. 土壤, 1997, 29 (5): 225 ~ 234
- 51 张桃林, 潘建军, 赵其国. 土壤质量研究进展与方向. 土壤, 1999, 31 (1): 1 ~ 7
- 52 张华, 张甘霖. 土壤质量指标和评价方法. 土壤, 2001, 33 (6): 326 ~ 330
- 53 刘晓冰, 邢宝山. 土壤质量及其评价指标. 农业系统科学与综合研究, 2002, 18 (2): 109 ~ 112
- 54 Lu Rukun, Shi Zhengyuan, Sun Bo. Degradation of soil nutrients in southeast China. Pedosphere, 2000, 10 (2): 165 ~ 170
- 55 Li Wenqing, Zhang Min, Van Der Zee S. Salt contents in soils under plastic greenhouse gardening in China. Pedosphere, 2001, 11 (4): 359 ~ 367
- 56 曹慧, 杨浩, 孙波, 赵其国. 不同种植时间菜园土壤微生物生物量和酶活性变化特征. 土壤, 2002, 34 (4): 197 ~ 200
- 57 周艺敏, 张金盛. 不同栽培与施肥条件下蔬菜的氮素利用率及氮肥去向的研究. 土壤学报, 2002, 39 (增刊): 270 ~ 274
- 58 何文寿. 肥料在宁夏农业持续发展中的作用、存在问题及对策. 宁夏农学院学报, 2000, 21 (3, 增刊): 77 ~ 81

SOIL PROBLEMS AND COUNTERMEASURE IN FACILITY AGRICULTURE IN CHINA

HE Wen-shou

(Science and Technology Division , Ningxia University , Yinchuan 750021)

Abstract Some soil problems in facility agriculture in China and their countermeasures were reviewed . Based on research reports available from various regions of China ,soil problems in facility cultivation are mainly deterioration of some soil physicochemical properties and biological environment. which has become more obvious in continuous cropping. To solve the problems, some researchers have put forth some countermeasures, including rational crop rotation , rational fertilization , prevention of secondary salinization , soil sterilization and use of pest-resistant varieties . They have also discussed indexes for evaluating soil quality in facility agriculture and analyzed and brought forwards issues that need to be further studied in future .

Key words Facility agriculture, Soil obstacle, Control measure