doi：10.11838/sfsc.1673-6257.23432

北京西瓜主产区养分管理与连作障碍因子分析

文方芳[1]，于兆国[2*]

（1. 北京市耕地建设保护中心，北京 100101；2. 农业农村部耕地质量监测保护中心，北京 100125）

摘　要：实地调查了北京 3 个西瓜主产区中 22 个村 51 个日光温室和春秋棚的养分管理情况，分析了土壤有机质含量、养分含量、pH、电导率（EC）、微生物和酚酸类物质含量指标，采用主成分分析法探究了西瓜连作障碍成因。结果表明，生产中化肥严重超量，有机肥以畜禽粪肥为主，肥料运筹随意。西瓜主产区土壤多为中高肥力等级，养分富集明显，土壤出现了明显的酸化、盐类物质积聚、微生物群落紊乱、酚酸类物质累积的问题。西瓜连作障碍受土壤因子影响大小顺序为放线菌、真菌 > 有效磷、化感物质 >pH、EC> 细菌、速效钾。因此，西瓜连作障碍是土壤微生物失衡、磷钾富集、酚酸类物质累积、土壤酸化和土壤次生盐渍化综合作用的结果。

关键词：西瓜；养分管理；连作；障碍因子

西瓜是北京具有特色的农业产业之一，主产区集中在大兴、顺义和延庆，生产面积占全市总比重的 85% 以上。自 2001 年起，北京市西瓜播种面积呈现逐年急剧下降的趋势，从 8495 hm^2 下降至 2020 年的 2232 hm^2（《北京市统计年鉴》）。受首都耕地资源短缺、土地结构调整、水资源匮乏等多方面因素限制，西瓜连作时间逐渐延长，连作障碍现象日趋加重，造成了作物抗逆能力、产量和品质明显下降等一系列问题，严重制约了北京西瓜产业的可持续发展。许多研究认为连作障碍主要是土壤生物学环境失去平衡（有害微生物增加、土传病害加剧、残茬毒害新生作物、寄生线虫数量增加、营养元素单一消耗）和土壤理化性状劣化（养分不均衡利用、盐类物质积聚、物理性状变差）[1-3]。关于西瓜连作障碍的报道多集中在以生物有机肥为主化肥为辅的施肥技术体系、微生物菌肥抑制土传病害、抗重茬茬口安排、不同砧木嫁接效果、环保型土壤消毒技术、有机无土栽培模式等[4-6]，而对导致北京市西瓜主产区连作障碍的主要原因分析鲜见报道。本研究通过对西瓜主产区开展养分管理调研与取土调查，采用主成分分析法对影响西瓜连作障碍的土壤相关指标进行系统分析，明确造成连作障碍的主成因，以期为北京西瓜产业的健康发展提供科学依据与生产指导。

1　材料与方法

1.1　调查内容与方法

实地调查了大兴区留民营、南里渠、北顿垡、东义堂、北臧村、丁村和田家窑，顺义区林上、北河、北务、小珠宝、李遂、东尹家府、松各庄、前陆马、后营和王兴庄，延庆区西五里营、小丰营、西红寺、香营和姚官岭，共 3 个西瓜主产区 22 个村 51 个设施（日光温室和春秋棚），获得调查问卷 51 份。调查内容包括基本情况、种植年限、作物种类、茬口、设施类型、历年产量、施肥情况等。其中，施肥情况包括底肥和追肥各肥料品种、施肥量、养分配比等。

1.2　土样采集

采用内径 2 cm 的土钻取 0 ~ 20 cm 的表层土壤，每个点位用“S”法取土，每个土壤样品均由 5 点混合而成，共获得 51 个土样。将土壤混合均匀，采用四分法分取土样，混匀的部分分为两部分，一部分用于分析土壤理化性状，另一部分置于 4℃冰箱保存以分析土壤微生物。每个主产区随机选取 5 个棚外土壤混合成 1 个土样，作为对照。

1.3　测定项目与分析方法

土壤有机质用重铬酸钾氧化滴定法测定，土壤全氮采用凯氏定氮法测定，土壤有效磷采用碳酸氢钠浸提 – 钼锑抗比色法测定，土壤速效钾采用乙

收稿日期：2023-07-18；**录用日期：**2023-09-22

作者简介：文方芳（1984-），正高级农艺师，硕士，主要从事耕地保护、土壤修复改良与化肥面源污染防控工作。E-mail：carol8492@126.com。

通讯作者：于兆国，E-mail：yuzhaoguo@sohu.com。

酸铵浸提－火焰光度法测定，土壤 pH 采用电位法测定，土壤电导率（EC）采用电导仪测定法测定[7]。土壤微生物测定采用平板稀释计数法[8]，细菌采用牛肉膏蛋白胨培养基倒置培养 24 h 后观察并统计群落个数，真菌采用马铃薯蔗糖琼脂培养基倒置培养 48 h 后观察并统计群落个数，放线菌采用高氏一号培养基倒置培养 72 h 后观察并统计群落个数。土壤酚酸类物质测定方法[9]：称取 10 g 土壤置于 50 mL 离心管中，加入 5 mL 2 mol·L^{-1} NaOH，150 r·min^{-1} 振荡提取 3 h，10000 r·min^{-1} 离心 4 min 后，取上清液，用 5 mol·L^{-1} HCl 调节 pH 值至 2.5 左右，然后用乙酸乙醋萃取 3 次，合并乙酸乙醋萃取液，旋转蒸发仪 45℃蒸干，残渣用 50 μL 甲醇溶解，4℃避光保存，过 0.45 μm 膜后供高效液相色谱法测定使用。

1.4　仪器与色谱条件

用 Thermo Ultimate 3000 HPL 仪测定，色谱柱（ODS thermo C18），流速 1 mL·min^{-1}，检测波长 290 nm，流动相为水（含 0.1% 甲酸）：甲醇 =40：60，等度洗脱。

1.5　数据处理

由于大兴和顺义是西瓜老产区，多为 10 年以上老设施瓜田，而延庆从 2012 年才开始种植西瓜，没有种植年限在 21 年以上的地块。本文按照种植年限进行分类统计，采用 Excel 2010 进行数据处理，SPSS 16.0 进行方差分析与主成分分析，Perseus 1.6.14.0 进行绘图。

2　结果与分析

2.1　设施西瓜养分管理现状

底肥有机肥以商品有机肥和鸡粪为主，占 96%，每公顷平均用量 38.4 t。部分农户为提高西瓜口感，除使用鸡粪外，还混施 750 kg 香油渣或 1125 kg 麻饼。底肥化肥多为三元复合肥（N-P_2O_5-K_2O），以 15-15-15、18-18-18、19-19-19 为主，每公顷平均用量 817 kg。后期追肥以大量元素水溶肥为主，前期为平衡型 20-20-20，中后期为高钾型 16-8-34 或 19-6-30，少数追施磷酸二氢钾或尿素等肥料。膨瓜期随水追施 2 ~ 3 次大量元素水溶肥，每公顷平均用量 180 kg·次$^{-1}$；追肥 3 次以上的多为长季节栽培。各主产区养分投入情况见表 1。每 1000 kg 西瓜需氮（N）5.08 kg、磷（P_2O_5）1.56 kg、钾（K_2O）6.4 kg（《2020 年北京市测土配方施肥技术指南》）。按照每公顷平均底施有机肥 38.4 t，三元复合肥（15-15-15）817 kg，追施大量元素水溶肥（20-20-20）540 kg，西瓜每公顷平均产量 46.5 t 折算，种植一茬西瓜后土壤中盈余了 7.3 kg N，14.4 kg P_2O_5 和 1.68 kg K_2O。化肥养分投入量占肥料（化肥 + 有机肥）养分总投入量的 66.7% ~ 80%，基追比例达到 66.1%，N、P_2O_5 和 K_2O 的施用量分别超出西瓜需求量的 1.5、4 和 1.1 倍。

表 1　各区西瓜产量与养分投入

所在区	样本数	前三年平均产量（t·hm^{-2}）	有机肥平均用量（t·hm^{-2}）	化肥平均用量（kg·hm^{-2}）	追肥平均用量（kg·hm^{-2}）
大兴	17	51.6	39.8	852	584
顺义	17	49.5	40.1	924	551
延庆	17	38.4	35.4	675	485
平均	17	46.5	38.4	817	540

可见，西瓜生产中存在化肥用量过高，有机肥以畜禽粪肥为主，几乎没有纤维素类有机肥投入，肥料运筹较随意。西瓜发芽期养分吸收量较小，伸蔓期植株干重迅速增长，矿质吸收量增加，坐果期、果实生长盛期吸收量最大，而土壤养分供应前期过多，中后期明显不足，这与前期底肥施用过多、中后期肥料施用不合理密切相关。西瓜对氮磷钾的吸收以钾最多、氮次之、磷最少，三者比例为 1：0.3：1.3。农户每茬投入大量有机肥、三元复合肥、平衡型水溶肥、磷酸二氢钾类高磷肥料，都导致了磷施用量远超需求量。

2.2　设施西瓜土壤化学指标

按照《全国九大农区及省级耕地质量监测指标分级标准》（农业农村部耕地质量监测保护中心）进行评价。不同种植年限 0 ~ 20 cm 土层土壤有机质、有效磷、速效钾、EC 的平均值均高于露天大

田对照（表 2）。有机质介于 12.32 ~ 56.64 mg·kg^{-1} 之间，有 85% 的调查地块土壤有机质达到中肥力等级以上（有机质 >15 g·kg^{-1}）；全氮、有效磷和速效钾分别介于 0.98 ~ 5.64 g·kg^{-1}、94.01 ~ 559 mg·kg^{-1} 和 142 ~ 2194 mg·kg^{-1} 之间，83% 以上的地块氮磷钾都达到高水平（全氮 >1.5 g·kg^{-1}，有效磷 >40 mg·kg^{-1}，速效钾 >200 mg·kg^{-1}）。北方石灰性土壤呈弱碱性（pH 7.5 ~ 8.5），但随着种植年限的逐渐延长，土壤呈现出不同程度的酸化，其中酸化最严重的地块 pH 已降至 6.53。一些地块在投入生产的前 10 年就出现了土壤盐分超标（作物生育障碍临界点 EC>0.5 mS·cm^{-1}[10]）的情况，盐分含量最高的地块 EC 达到 1.91 mS·cm^{-1}。表明西瓜主产区土壤多为中高肥力等级，养分富集明显，出现了酸化和盐类物质积聚的问题，主要是由于肥料不合理施用和连年种植所致。

表 2　设施西瓜土壤化学指标统计

种植年限（年）	统计值	有机质（g·kg^{-1}）	全氮（g·kg^{-1}）	有效磷（mg·kg^{-1}）	速效钾（mg·kg^{-1}）	pH	电导率（mS·cm^{-1}）
对照（n=3）	均值	7.30a	0.41a	18.07a	24a	8.22a	0.14a
0 ~ 10（n=15）	最小值	14.35	1.28	94.01	142	6.53	0.23
	平均值	30.47b	2.22b	216 b	844b	7.63a	0.49a
	最大值	50.81	3.43	397	2194	8.13	1.58
	标准差	12.71	1.01	99.54	548	0.40	0.34
11 ~ 20（n=21）	最小值	14.27	0.98	121	171	7.25	0.48
	平均值	25.95b	2.24b	228b	713b	7.80a	0.91a
	最大值	47.25	3.94	559	1429	8.38	1.91
	标准差	10.79	1.35	113	406	0.28	0.61
>21（n=15）	最小值	12.32	0.99	147	549	7.45	0.70
	平均值	22.44b	2.65c	216b	1055b	7.79a	0.95a
	最大值	56.64	5.64	455	2166	8.27	1.63
	标准差	14.28	1.41	100	514	0.26	0.30

注：同列数据后小写字母不同表示种植年限间差异显著（P<0.05）。下同。

2.3　设施西瓜土壤微生物菌群和酚酸化合物

由表 3 可知，随着种植年限的延长，细菌和真菌的平均数量均呈现逐年增加的趋势，放线菌变化不大。不同种植年限土壤细菌与真菌的比值和露天大田对照相比，分别降低了 11.5%、21.4% 和 24.4%。酚酸是公认的作物生长抑制剂，香草酸、阿魏酸、香豆酸和苯丙烯酸是西瓜根系分泌和残茬腐解产生的常见酚酸类物质[11-12]。由于连年种植西瓜，4 种酚酸化合物总量逐年积累，相比于对照增加了 1.85 ~ 2.42 倍。除 0 ~ 10 年外，每种酚酸占酚酸总量的顺序是香草酸 > 阿魏酸 > 香豆酸 > 苯丙烯酸，分别占酚酸总量的 33.32% ~ 39.46%，27.62% ~ 29.66%、21.08% ~ 23.38% 和 11.85% ~ 13.64%，其中香豆酸和苯丙烯酸含量较低，也与部分样本未检出有关。连作导致土壤微生物区系从细菌型转向真菌型，酚酸类物质在根际环境中大量积累，抑制了西瓜正常生长发育。

2.4　设施西瓜连作障碍土壤因子主成分分析

由于部分土壤样本香豆酸和苯丙烯酸未检出，运用主成分分析法对调查样点中西瓜连作地块的 11 项土壤指标进行分析，见表 4。主成分分析共获得 4 个特征值大于 1 的主成分，从主成分 1 到主成分 4 的方差贡献率分别为 23.00%、19.02%、17.47% 和 12.53%，累积方差贡献率 72.02%。主成分 1 中因子载荷较高的是放线菌和真菌，该主成分主要表征的是土壤微生物群落因子。主成分 2 与土壤有效磷和香草酸关系密切，将该主成分定义为度量磷素与化感物质的因子。主成分 3 土壤 pH 和

EC 载荷较高，可见该主成分是代表土壤酸碱度和盐分含量的因子。主成分 4 土壤细菌和速效钾载荷较高，可知该主成分是度量土壤微生物和钾含量的因子。引起设施西瓜连作障碍是各种因素的综合反映，但由于气候条件、土壤类型、茬口、作物品种、栽培模式、农户管理方式等不同，使得引起各调查地块连作障碍的主要影响因素也有所不同。总的来看，北京西瓜主产区连作地块整体受因子影响的大小顺序为放线菌、真菌 > 有效磷、化感物质 >pH、EC> 细菌、速效钾。

表 3　土壤微生物菌群和酚酸化合物统计

种植年限（年）	统计值	细菌（10^4 CFU·mL^{-1}）	放线菌（10^4 CFU·mL^{-1}）	真菌（10^4 CFU·mL^{-1}）	香草酸（μg·mL^{-1}）	阿魏酸（μg·mL^{-1}）	香豆酸（μg·mL^{-1}）	苯丙烯酸（μg·mL^{-1}）
对照（n=3）	均值	8.80a	7.67a	15.22a	12.35a	7.64a	4.77a	2.16a
0 ~ 10（n=15）	最小值	1.30	1.33	0.67	14.08	1.45	0.79	3.07
	平均值	7.93a	10.93a	15.45a	21.48b	9.71a	10.96b	7.53a
	最大值	31.33	44.00	87.33	38.18	22.74	30.76	16.93
	标准差	9.04	10.92	24.44	8.69	11.57	9.96	5.89
11 ~ 20（n=20）	最小值	4.67	4.33	6.00	11.74	1.45	1.71	1.68
	平均值	13.44a	10.73a	29.52a	23.12b	16.18b	12.35b	6.94a
	最大值	32.31	27.33	127.00	53.88	145.00	35.80	14.51
	标准差	9.06	6.21	30.14	11.14	27.63	10.65	5.51
>21（n=15）	最小值	1.67	3.00	12.33	9.33	2.32	0.95	2.18
	平均值	13.81a	10.85a	31.25a	21.71b	19.33b	15.23c	8.89a
	最大值	33.66	17.65	61.60	45.38	54.50	33.53	13.83
	标准差	9.52	5.03	20.24	10.34	34.94	11.92	6.04

表 4　旋转因子载荷矩阵

指标	主成分 1	主成分 2	主成分 3	主成分 4
有机质	0.56	0.43	0.18	–0.09
全氮	0.49	0.44	0.49	0.28
有效磷	–0.15	0.88	–0.00	0.17
速效钾	–0.52	–0.12	–0.06	0.59
pH	–0.15	0.23	–0.75	0.38
电导率	0.28	0.13	0.67	0.26
细菌	0.42	0.02	–0.24	0.72
放线菌	0.85	–0.17	–0.32	0.06
真菌	0.78	–0.20	–0.26	–0.20
香草酸	–0.22	0.75	–0.01	–0.30
阿魏酸	–0.16	0.47	0.64	0.24

由图 1 发现，0 ～ 10 年不同取样地点的土壤各因子与露天大田对照相比，在主成分 1 上仅有 1 个明显的分离点；11 ～ 20 年的，在主成分 1 上有 5 个分离点；21 年以上的，在主成分 1 上有 3 个分离点。以上分离点对应的具体地块都存在微生物群落失衡、养分含量极高、酚酸类物质累积明显、酸化、盐分严重超标等特点。当种植年限超过 10 年，土壤各因子发生明显变化，生产中要提前做好西瓜连作障碍防治管理，确保土壤健康可持续使用。值得一提的是，本文人为划定了 3 个种植年限开展分类调查，但并不意味着种植 10 年后才会出现连作障碍，10 年内究竟到第几年就出现了连作障碍还需要进一步研究。

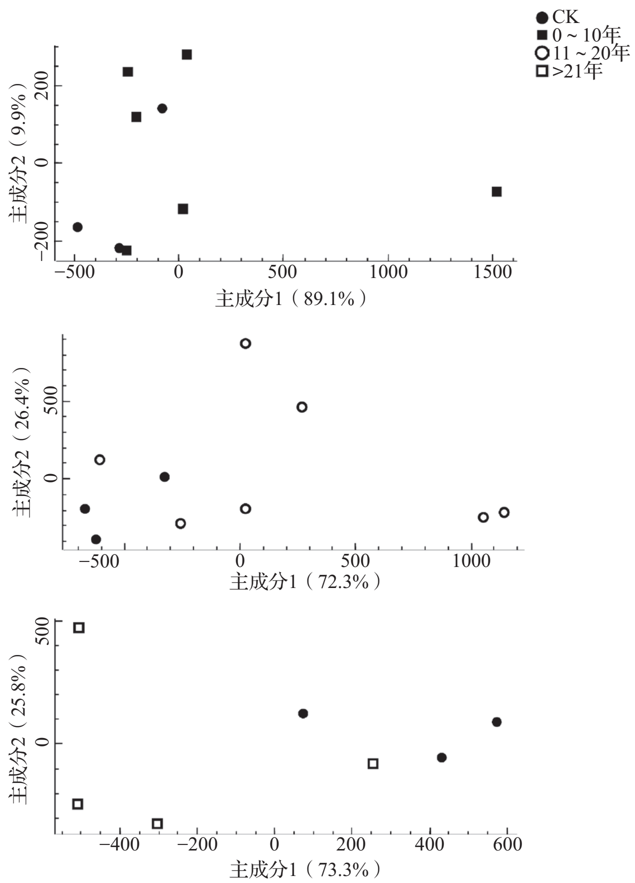

图 1　不同种植年限土壤因子主成分分析

3　讨论与结论

3.1　西瓜连作障碍成因

连作障碍是指在同一块土壤中连续栽培同种或同科作物时，即使在正常的栽培管理状况下，也会出现生长势变弱、产量降低、品质不佳、病虫害严重的现象。作物连作现象在世界各地普遍存在，主要以谷类作物和蔬菜连作严重，西瓜是不耐连作的作物之一。关于导致作物连作障碍的原因，已有学者从不同角度进行了研究，包括土壤物理、化学、生物性状的影响[13-14]，本文也得出了一致的结论。连作时由于特定作物对肥料的选择性吸收，易导致一些元素特别是微量元素的缺乏，加上设施栽培中容易出现因过量施肥引起盐分障碍和离子拮抗，从而导致作物出现更为明显的生育障碍。连作后土壤微生物总量减少，细菌与真菌比值逐渐降低，微生物从细菌型转向真菌型。作物根系分泌物、残体和腐解产物可以释放大量酚酸化合物，长期连作后酚酸化合物在根际环境中积累增加，降低作物体内生长素氧化酶的活性，破坏根系或其他分生组织，阻碍作物生长和养分吸收。此外，酚酸类物质刺激真菌繁殖与生长或为真菌生长提供有效碳源，真菌数量呈明显增长的趋势[15]，加上化肥大量使用也导致了土壤中病原拮抗菌的减少，助长了土壤中病原菌的繁殖，导致西瓜枯萎病的爆发，具体表现为幼苗易死易倒伏，植株发育迟缓，瓜秧细弱，蔓稍皱缩不展，叶面积减小，发病率高，果实变少变小，植株枯萎死亡，产量品质下降，严重的大面积减产或绝产。

3.2　制定西瓜生产精准施肥方案

鉴于当前北京西瓜主产区在养分管理与土壤质量方面的突出问题，西瓜施肥技术亟需从化肥减量、选择适宜的有机肥种类、开展有机肥替代部分化肥、调整基追比例等方面进行改进。可以通过“六步法”制定西瓜生产施肥方案：①调研测土。结合已有地力评价标准，明确土壤地力水平、各养分指标的盈余匮缺及土壤障碍问题。②定施肥量。根据西瓜目标产量确定所需氮磷钾量，注重钙肥及时补给，避免偏施大量元素而忽略中微量元素，造成养分不均衡、增加枯萎病发生概率。③养分校正。采用氮素总量控制，磷钾恒量监控的原则[16]。以过去 3 年该地块同茬口西瓜平均产量为参考，制定本茬西瓜目标产量，确定氮素需求总量。在极低、低、中、高、极高的土壤肥力条件下，相应磷钾肥推荐量为作物带走量的 2、1.5、1、0.5、0 倍进行推荐。④有机肥替代。确定有机肥合理用量是有机肥替代部分化肥的基础。经北京市耕地建设保护中心长期定点原位矿化试验验证，北京地区每 1000 kg 商品有机肥可替代 5 ～ 8 kg 化肥纯养分。5 年以上养分富集、土壤板结、酸化、次

生盐渍化、病虫害严重的老设施菜田，建议选用以牛羊粪、秸秆等为发酵原料的中缓效有机肥，每 667 m^2 用量 1000 ~ 2000 kg，增加秸秆类物质补充碳源、减轻板结和次生盐渍化。5 年以下的新建设施菜田以熟化土壤、改良土壤结构和提高土壤肥力为主，建议选择以鸡粪、猪粪类为发酵原料的速效有机肥，每 667 m^2 用量 2000 ~ 3000 kg。本次调查发现西瓜生产中有机肥替代部分化肥的潜力较大，按合理施肥条件下有机肥或有机物料替代化肥 40% ~ 50% 的比例估算，化肥养分减施的潜力为 16.7% ~ 40%。⑤核减养分。校正后的养分扣除有机肥提供养分，即可得到后期所需养分。⑥配肥改土。根据西瓜不同养分需求时期进行配肥，幼苗期养分需求量占总吸收量的 0.54%，伸蔓期占 14.7%，坐果期占 84.8%。减少底肥化肥投入，重视中后期养分供应，选择应用适合西瓜养分需求的低磷类专用新型肥料。同时，结合土壤障碍开展改良土壤，采用深耕机打破犁底层，确保深翻 30 cm，降低土壤容重；采用施用麦秸、生物填闲等方法降低土壤盐分。

综上所述，土壤微生物失衡、磷钾富集、酚酸类物质累积、土壤酸化和土壤次生盐渍化是导致北京西瓜主产区连作障碍的主要诱因。应从因上施策，及时采取综合防治措施：首先优化种植制度，不同作物间进行轮作是连作障碍的最佳防范措施，可将十字花科、葱蒜类、禾本科植物同西瓜开展间作或套作。十字花科植物分解过程中会产生含硫化合物，向土壤中施入这种作物的残茬能减轻作物根部病害发生，葱蒜类作物的根系分泌物对多种细菌和真菌有较强的抑制作用，禾本科能大量吸收土壤中盈余养分、减轻盐害，将其粉碎翻耕还田能调节土壤碳氮比。其次，制定精准合理的施肥方案是避免土壤出现养分富集、酸化、次生盐渍化等障碍问题最直接有效的措施。此外，及时清除初染病株和残茬，防止病虫害传播和酚酸物质积累影响下的茬西瓜生长。针对不同地区采取适当的农艺措施，平原地区如大兴和顺义，可以利用日光温室和冷棚更换棚膜的 6 ~ 8 月农闲时期，深翻晒垡和雨水淋洗，打破犁底层，使板结的土壤重新变得疏松，降低土壤盐分含量，打破设施长年封闭的状态；高山区如延庆，可在冬季整棚灌水冻垡，杀灭有害病虫；土壤消毒后，接种有益菌群或对特定病原菌具有拮抗作用的微生物菌剂，如寡雄腐霉菌、哈茨木霉菌、多粘类芽孢杆菌等，利用有益微生物在根际形成生物屏障，降低土壤中病原菌密度与活性，从而减轻连作障碍的发生。

参考文献：

［1］ 高子勤，张淑香．连作障碍与根际微生态研究Ⅰ．根系分泌物及其生态效应［J］．应用生态学报，1998，9（5）：549–554.

［2］ 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［J］．东北农业大学学报，2000，31（3）：241–247.

［3］ 郑军辉，叶素芬，喻景权．蔬菜作物连作障碍产生原因及生物防治［J］．中国蔬菜，2004（3）：56–58.

［4］ 杨晓华，蔡金龙，姚莉英，等．西瓜设施栽培土壤连作障碍及配套防治技术［J］．中国瓜菜，2005（6）：34–36.

［5］ 孙兴祥，林红梅，何春萍，等．嫁接与生物防治对西瓜枯萎病防治效果的研究［J］．中国蔬菜，2013（14）：88–91.

［6］ 谢玲玲，梁志怀，王双伍，等．西甜瓜设施栽培连作障碍快速修复技术［J］．湖南农业科学，2015（5）：63–64.

［7］ 鲍士旦．土壤农化分析［M］．北京：中国农业出版社，2000.

［8］ 中国科学院南京土壤研究所微生物室．土壤微生物研究法［M］．北京：科学出版社，1985.

［9］ 刘江云，杨学东，徐丽珍，等．天然酚酸类化合物的反相高效液相色谱分析［J］．色谱，2002，19（1）：100–103.

［10］ 李先珍，王耀林，张志斌．京郊蔬菜大棚土壤盐离子积累状况研究初报［J］．中国蔬菜，1993（4）：15–17.

［11］ 吕卫光，杨广超，刘玲，等．西瓜植株残体腐解过程中酚酸化合物的动态变化［J］．华北农学报，2012，27（增刊）：154–157.

［12］ 王倩，李晓林．苯甲酸和肉桂酸对西瓜幼苗生长及枯萎病发生的作用［J］．中国农业大学学报，2003，8（1）：83–86.

［13］ 杨瑞平．西瓜连作障碍环境技术及其机理研究［D］．咸阳：西北农林科技大学，2016.

［14］ 吕卫光．上海市郊西瓜连作障碍成因及应用生物有机肥进行防治的研究［D］．南京：南京农业大学，2008.

［15］ 张淑香，高子勤，刘海玲．连作障碍与根际微生态研究 Ⅲ．土壤酚酸物质及其生物学效应［J］．应用生态学报，2000，11（5）：741–744.

［16］ 陈清，卢树昌．果类蔬菜养分管理［M］．北京：中国农业大学出版社，2014.

Analysis of nutrient management and continuous cropping obstacle factors for the main watermelon production areas in Beijing

WEN Fang-fang[1]，YU Zhao-guo[2*]（1. Beijing Cultivated Land Conservation and Protection Center，Beijing 100101；2. Cultivated Land Quality Monitoring and Protection Center，Ministry of Agriculture and Rural Affairs，Beijing 100125）

Abstract：In this paper，the nutrient management of 51 greenhouses，spring and autumn sheds in 22 villages in the 3 main watermelon producing areas in Beijing was investigated. Soil organic matter content，nutrient content，pH，electricity conductivity（EC），microorganisms and the contents of phenolic acid substances were analyzed to determine the impact of watermelon continuous cropping obstacle factors by principle component analysis. The results showed that chemical fertilizer amount seriously excessive，organic fertilizer mainly based on livestock manure and random addition of fertilizer applications，was very common during production. Most of the soil fertility in the main watermelon producing areas belonged to the classes of medium to high fertility，with significant nutrients enrichment and obvious acidification，salts accumulation，microbial community disorder and phenolic acid accumulation. The order of watermelon continuous cropping obstacle factors affected by soil factors were actinomycetes，fungi>available phosphorus，phenolic acid>pH，EC>bacteria，available potassium. Therefore，the main obstacle for watermelon continuous cropping was the result of combined causes of soil microbial imbalance，phosphorus and potassium enrichment，total phenolic acid substances accumulation，soil acidification and secondary soil salinization.

Key words：watermelon；nutrient management；continuous cropping；obstacle factors