

高产优质有机农业技术体系探索

梁鸣早¹, 路 森², 王天喜³, 光立虎⁴, 路 遥², 李秀凤², 孙建光¹, 刘立新^{1*}

[1. 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所, 北京 100081; 2. 仲元(北京)土壤改良技术研究所, 北京 100011; 3. 山西省临汾市尧都区汾河氨基酸厂, 山西 临汾 041099; 4. 山西省新绛县西行庄立虎有机蔬菜专业合作社, 山西 新绛 043110]

摘要: 按照国际惯例有机种植不使用化肥、农药、激素和转基因材料, 所以人们常常把有机种植和低产相关联, 但目前有一技术可让有机种植做到高产优质, 本文对此技术进行理论综述: 1) 有机种植要有充足的碳源; 2) 氮源来自微生物固氮和有机物的降解氮; 3) 矿物质的磷、钾、钙、镁、硫、铜、铁、锰、锌、硼、钼、氯以及有益元素和生命元素在代谢中不可或缺; 4) 栽培中不断创造逆境激活免疫力, 使作物各个部位和果实都产生抗病、虫、草害与抗灾害性天气的化感物质、品质和风味物质。上述4方面技术的结合, 其产物就是产量高、品质优、有营养、耐储存、风味好的农产品。

关键词: 有机碳; 有益微生物菌群; 天然矿物质; 胁迫; 次生代谢; 诱导抗逆

中图分类号: S158.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1673-6257(2016)03-0005-09

近几十年, 我国农业由于过量使用化学农药和化肥引起面源污染、土壤板结、农产品品质下降、风味变差、病虫害加重、化肥利用率低, 同时对环境造成巨大危害^[1], 致使我国耕地状况不容乐观, 表现在: 1.2亿hm²耕地中的70%为中低产田, 退化面积占总面积40%以上^[2], 土壤污染(点位调查)超标率达19.4%, 其中82.8%为重金属污染, 南方土壤酸化, 地表水富营养化, 华北平原耕层变浅, 地下水硝酸盐污染, 西北地区耕地盐渍化、沙化, 加上农膜残留污染^[3]; 而我国还有后备耕地资源不足、水资源短缺问题, 涉及国家粮食安全和农产品质量安全, 也影响百姓生活。

我国有数千年农耕文化传承, 特色是精耕细作、种养结合; 历代农书^[4]《齐民要术》、《天工开物》等对中国乃至世界影响巨大^[5]; 在新的历史时期和新科技背景下, 一个全新理念的有机高产优质农业技术体系正在形成, 它是传统农耕文化与现代科技融合的产物, 此技术内涵的农耕文化和东方思维^[6], 被称为中国式有机农业, 特色是采取防重于治的多项技术: 提供充足的碳为作物高产打基

础; 用有益微生物复合菌(具有生物固氮、快速降解有机物、促进根系和植株生长、对作物终生胁迫和固碳减排等多项功能), 使微生物成为土壤中最有活力的生力军; 矿物质肥料在促进土壤结构形成和参与代谢中有不可或缺的作用; 对作物进行胁迫诱导打开次生代谢增强免疫力。上述多项措施可实现免用农药, 提高作物产量、品质和风味的目标。

1 秸秆有机肥高碳源是高产的基础

1.1 作物的碳饥饿

植物生长必需的17种元素中碳、氢、氧占总量的96%, 众所周知, 作物光合作用所需的二氧化碳来源于土壤和空气, 而氢和氧来源于光合作用中水的光解, 正由于碳、氢、氧原材料容易获得, 久而久之被人们所漠视。长期以来的化学农业过分强调对氮、磷、钾的投入, 而有机肥、秸秆等有机碳类物质未适量补充, 事实上碳是构建植物体各种物质的骨架, 是合成糖类、蛋白质、氨基酸、酶、激素、信号传递物质等的基础材料, 碳在作物体内约占约45%, 作物靠天补碳方式仅能满足作物五分之一需要^[7], 作物长期处于“碳饥饿”中。

1.2 多途径补充碳为高产打基础

生产中大量投入有机肥、秸秆、腐殖酸等有机碳类肥料, 在有益微生物菌的作用下被降解为高活性小分子有机碳和有机氮及矿物质^[8], 可为作物根

收稿日期: 2015-06-16; 最后修订日期: 2015-09-15

作者简介: 梁鸣早(1948-)女, 北京人, 副研究员, 研究植物营养。E-mail: mziang1122@163.com。

通讯作者: 刘立新, E-mail: liulixin1940@163.com。

系直接吸收^[9], 有机碳无需消耗光能; 在作物生长中也可直接喷洒腐殖酸、氨基酸等有机碳类液体肥料, 4 h 内被作物吸收利用, 及时满足作物对碳的需要。

土壤中有机物经微生物作用生成复杂且较稳定的大分子有机化合物腐殖质, 其结构以芳香族核为主体附以各种功能团 (酚羟基、羧基、甲氧基等), 腐殖质与粘土矿物结合为有机无机胶体复合体, 形成土壤团粒结构, 使土壤变得松软, 改善了土壤的通透性, 增强土壤对水分和养分的吸持能力, 土壤渐渐成为各种土壤动物、微生物和植物根系和谐相处的类生命体, 此状态的土壤释放二氧化碳的能力强, 作物的光合效率高, 光合产物丰富。

作物通过根系和叶面吸收有机碳, 还从土壤与空气中获得二氧化碳, 这种多途径补充碳是作物获得高产的基础。

2 有益微生物菌是土壤物质流和能量流的推动者

研究表明^[10], 在自然生态系统中, 新增的可为有机体所用的氮主要来源于生物固氮; 植物体内的氮约 80% ~ 90% 来源于生物固氮, 地球上陆地生态每年生物固氮量 9 千万 ~ 1.4 亿 t; 海洋生态每年的生物固氮 3 千万 ~ 3 亿 t。自然界具有生物固氮能力的细菌多为原核生物, 有 100 多个属。研究发现, 很多芽孢杆菌属的联合固氮菌 (属于非豆科固氮) 广泛存在于水稻^[11]、玉米^[12]、小麦^[10]、蔬菜^[12-13]等作物的体内和根际, 为作物提供活性氮, 还发现一些菌具备高效固氮和强竞争性^[14-15]。有益微生物在土壤与作物生态环境中的积极作用是多方面的, 分述如下:

2.1 菌群优势

在有机农业中使用活性高的有益微生物 (含多种芽孢杆菌) 复合菌剂, 在适当的土壤环境中这些菌群自成食物链, 在土壤中形成竞争优势占领优势生态位, 从而减轻土壤中各种有害微生物和根结线虫等对作物的侵害^[13]。

2.2 氮肥替代

目前有机种植中所使用的有益菌群, 其中芽孢杆菌类^[15]和光合细菌 (非豆科) 有固氮作用。有益微生物可为作物提供两种活性氮: 一种的微生物固氮^[16-17]为作物提供铵态氮^[18], 另一种是微生物降解有机物生成的小分子高活性的有机氮。氮是植物生

长必需的营养元素, 氮是蛋白质、叶绿素、核酸、酶、生物激素等重要生命物质的组成部分; 如何补充作物生长需要的氮至关重要, 化学氮肥在土壤中只有 3 个月的有效期, 而微生物与作物共生可不断提供给作物活性氮。

2.3 促进生育

有益菌群中的嗜酸乳杆菌和 5406 放线菌具有促进根系生长的作用; 近年来人们发现用有益微生物菌剂拌种, 玉米的秸秆和叶片长时间保持绿色, 使果穗活秆成熟, 收获后秸秆可作青储饲料, 也可还田快速降解, 为下茬提供营养。

2.4 固碳减排

有益菌群中的绿色木霉菌能快速降解土壤有机物中的纤维素、半纤维素、木质素, 促进腐殖质的形成。腐殖质是含有多个官能团的大分子, 其中碳、氮、磷、硫比值大约为 100:10:1:1; 腐殖化过程是一个固碳过程, 有益微生物与矿物质元素及秸秆配合使用有叠加作用, 腐殖质占有有机质的 50% ~ 70%, 按照 0 ~ 20 cm 土层的有机质提升 1% 计算, 相当于给土壤固碳 13.2 t/hm², 如能在我国 20% 的耕地上应用此技术相当于碳减排 3 亿 t/年^[19]。

2.5 终生胁迫

有益菌群与作物的关系是共生/联合固氮方式, 其活动不断地穿透细胞壁^[10]给作物以胁迫, 这种胁迫是伴随终身的, 因此可以不断地促使作物打开次生代谢产生化感物质, 化感物质就是各种抗击病虫害和抗击灾害性天气的物质, 同时还产生品质物质和风味物质。

综上所述, 在有机农业中有益微生物菌群是土壤物质流和能量流的推动者, 是有机农业生产中最活跃的生力军^[20]。

3 天然矿物质是不可或缺的农业物资

3.1 矿物质在植物体内的重要性

人类对于植物营养研究已有数百年, 已确认 17 种植物必需元素^[10]和 7 种有益元素、5 种重金属有害元素, 对生命元素 (稀土元素) 的认知刚开始; 作物必需的 17 种元素有着不可替代性, 尽管它们在植物体内含量相差悬殊^[21] (表 1), 但同时共同遵循少量有效、适量最佳、过量有害的原则^[22]; 对营养元素的不恰当使用, 会引起元素间的拮抗和沉淀^[22-25] (图 1)。

表 1 植物必需营养元素的可利用形态和占干物质的大致含量

| 元素 | 碳 | 氧 | 氢 | 氮 | 钾 | 磷 | 钙 | 镁 | 硫 |
|--------------|----------------------|------------------------------------|------------------|--|------------------|---|--------------------------------|------------------|-------------------------------|
| 符号 | C | O | H | N | K | P | Ca | Mg | S |
| 利用形态 | CO ₂ 、有机碳 | O ₂ 、H ₂ O | H ₂ O | NO ₃ ⁻ 、 NH ₄ ⁺ 、 有机氮 | K ⁺ | H ₂ PO ₄ ⁻ 、 HPO ₄ ²⁻ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | SO ₄ ²⁻ |
| 占干物重 (%) | 45 | 45 | 6 | 1.5 | 1 | 0.2 | 0.5 | 0.2 | 0.1 |
| 元素 | 氯 | 铁 | 锰 | 硼 | 锌 | 铜 | 钼 | 镍 | |
| 符号 | Cl | Fe | Mn | B | Zn | Cu | Mo | Ni | |
| 利用形态 | Cl ⁻ | Fe ²⁺ 、Fe ³⁺ | Mn ²⁺ | H ₂ BO ₃ ⁻ 、 B ₄ O ₇ ²⁻ | Zn ²⁺ | Cu ²⁺ 、 Cu ⁺ | MoO ₄ ²⁺ | Ni ⁻ | |
| 占干物重 (mg/kg) | 100 | 100 | 50 | 20 | 20 | 6 | 0.1 | 0.005 | |

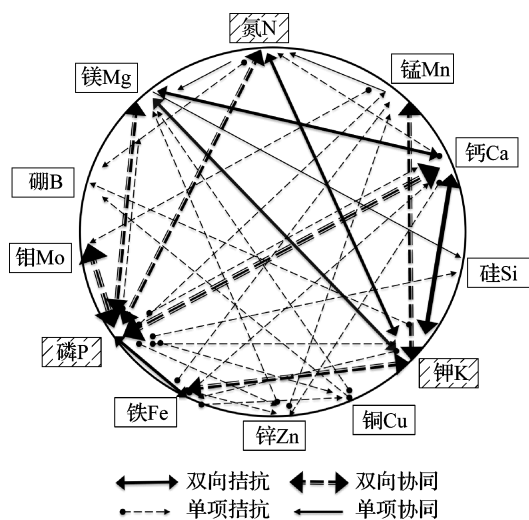


图 1 元素间的协同与拮抗示意图

3.2 矿物质失衡对作物和土壤的影响

过量施高浓度的氮、磷、钾速效化肥会造成作物根系的奢侈吸收；作物体内氮过量易感病，钾过量使体内的钙和镁失去活性，磷过量使代谢发生“代谢控制与控制代谢”（图 2）的负反馈反应^[26]，最终使得储藏器官滞留过量磷酸葡萄糖和磷酸，造成果实不耐贮存且易感病。

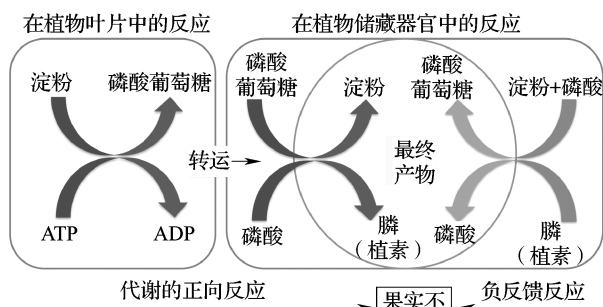


图 2 植物体内磷过量引起代谢的负反馈反应示意图

注：ATP 为三磷酸腺苷，ADP 为二磷酸腺苷。

磷构成植物体核酸、磷脂、腺苷磷酸、磷酸酯、肌醇六磷酸，被广泛认为是生命活动的启动元素，即作物生长早期磷处于有效态很重要；钾能激活植物体 60 多种酶、参与光合作用、调节水分平衡；钙是构成细胞壁的重要元素，硫是蛋白质和酶的组成成分，硫和钙共同参与次生代谢的开启，镁参与光合作用、糖酵解和三羧酸循环的磷酸化过程、酶促反应等过程，负责对代谢产物的运输；作物次生代谢的开启和运转要靠中量营养元素钙、镁、硫，如果作物体内缺乏这 3 种元素，次生代谢就打不开，即便打开也不能运转。

钙、镁、铁、锰等二价阳离子和腐殖质一起是土壤有机无机胶体形成复合体的搭桥物质，是形成土壤团粒结构的基础^[27]。土壤中缺少钙、镁、铁、锰元素也是造成土壤板结的原因。图 3 显示，土壤形成团粒结构可大致归类于 3 种类型有机无机胶体结合方式，这与土壤粘粒、腐殖质含量、钙和镁离子含量、铁和锰离子的含量有关。

一些微量元素是次生代谢产物的组成成分，比如超氧化物歧化酶（SOD）是植物体中重要的抗氧化酶^[10]，一类辅基含有金属元素的活性蛋白酶，最终生成 Fe-SOD、Mn-SOD、CuZn-SOD，如果土壤中缺乏铜、铁、锰、锌就不可能生成超氧化物歧化酶。

植物中的 SOD 对人类健康意义重大，生物体受到环境干扰所产生的自由基是致病中介因子、百病之源，植物源的 SOD 能消除自由基；SOD 在人体内的活性越高，免疫力越强，寿命就越长。

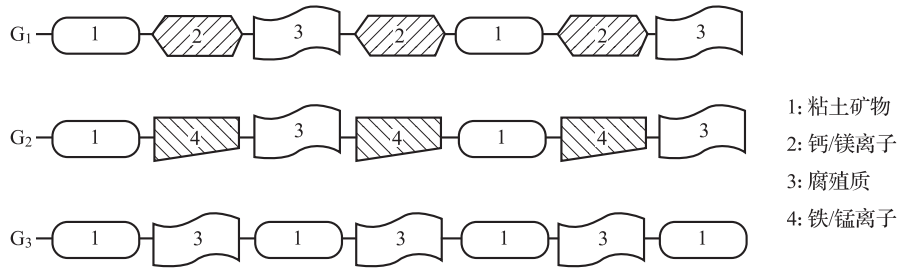


图3 三种类型的土壤团粒结构示意图^[27]

矿物质营养元素在作物次生代谢中有不可替代作用^[25]，当一种或多种元素不足或缺乏，会导致植物次生代谢的空转^[28]，这就是为什么在只重视氮、磷、钾的现代农业病虫害和连作障碍^[29]严重，为什么生产出的农产品不耐贮存、风味差、口感不好的原因^[30]。

当土壤的中微量元素被耗竭，也使有益微生物难以存活。

总而言之，天然矿物质肥料是有机农业不可或缺的重要物资。有机种植中作物生长必需 17 种元素除碳、氢、氧、氮外的元素补充均可以来自天然矿物质，天然矿物质中还含有对植物生长的有益元素和生命元素，被有机农业标准认可^[31]（表 2）。目前市场上已有不少国家批准的土壤调理剂产品。

表 2 国家标准中有机作物种植允许使用的矿物质

| 物质名称 | 使用条件 |
|-------------|-----------------------------------|
| 磷矿石 | 天然的物理方法获得的、五氧化二磷中镉含量小于等于 90 mg/kg |
| 钾矿粉 | 物理方法获得的，不能通过化学方法浓缩。氯的含量少于 60% |
| 硼酸岩 | — |
| 微量元素 | 天然物质或来自未经化学处理，未添加化学合成物质 |
| 镁矿粉 | 天然物质或来自未经化学处理，未添加化学合成物质 |
| 天然硫磺 | — |
| 石灰石、石膏和白垩 | 天然物质或来自未经化学处理，未添加化学合成物质 |
| 粘土（如珍珠岩、蛭石） | 天然物质或来自未经化学处理，未添加化学合成物质 |
| 氯化钙、氯化钠 | — |
| 窑灰 | 未经化学处理，未添加化学合成物质 |
| 钙镁改良剂 | — |
| 泻盐类（含水硫酸岩） | — |

4 免疫力是作物栽培不用农药的保障

4.1 对作物诱导抗逆的研究

从植物生理学看传统农耕，中耕、除草、移栽、插秧，果树的剪枝、断根、拉扭、环割和蔬菜的打杈、采摘和多次收获等，这些带有伤害性的农艺措施就是在栽培环境中使作物受到多次胁迫^[32]，胁迫使作物体内产生伤害乙烯（Injury ethylen），乙烯是开启植物次生代谢的重要物质^[33]，在营养和水充足的条件下次生代谢运转就能产生农产品产量物质、品质物质、风味物质、抗病虫害物质和抗击灾害性天气物质^[34]。对作物胁迫诱导的认识源自对大自然的思考，中国农科院李纯忠在 20 世纪 70 到 90 年代对我国许多“名特优农产品的土宜”问题进行了 20 年的跟踪研究发现：“凡是出了名的农产品其品质优良者均产生于土壤、气候条件特殊的恶劣环境中”^[33]；刘立新^[33]认为：它们要么处于石砾的恶劣土壤环境，水分供应困难、养分亏缺（如名贵茶叶大红袍、岩茶等）；要么处于盐碱地等土壤障碍因子、生长条件恶劣或管理技术特别，需要环割、刀砍、斧劈……等，如乐陵小枣等，或要么需要天寒地冻的天气条件等等（如药性非常好的雪域红景天、高山雪莲等）；而在正常气候和肥沃的土壤上，很少有自然形成的名特优农产品。怎样在良好的土壤上生产名特优农产品呢？怎么样才能使植物具有防控病虫害能力呢？由此归结出 3 个生产要素：①环境胁迫或人造胁迫，②基因控制（品种），③营养元素平衡供应（作物所需的不同营养元素供应强度均衡）。这一重要结论为生产优质农产品找到理论根据。

植物次生代谢的启动对诱导抗逆的研究是国内 外很多学者包括植物生理学家、化学生态学家、植物保护学家为之奋斗了几十年的难题。近年来，刘立新发现胁迫对植物有诱导抗逆作用^[33]。植物受到胁迫产生乙烯，乙烯是一种气态的不稳定的易消

耗的信号物质，其特点是遇激而增传息而变，乙烯前体是蛋氨酸的一种含硫氨基酸；当硫充足时生成蛋氨酸；1964年利伯曼提出乙烯来自蛋氨酸^[34]，1979年亚当斯确定乙烯合成途径^[34]为：蛋氨酸→腺苷蛋氨酸（SAM）→1-氨基环丙烷基羧酸（ACC）→乙烯；遇到胁迫，蛋氨酸就能迅速形成逆境信号乙烯，植物体内的钙离子作为第二信使参与信号转导，激活转录因子使抗逆基因表达，此时次生代谢便开始运转（图4）。

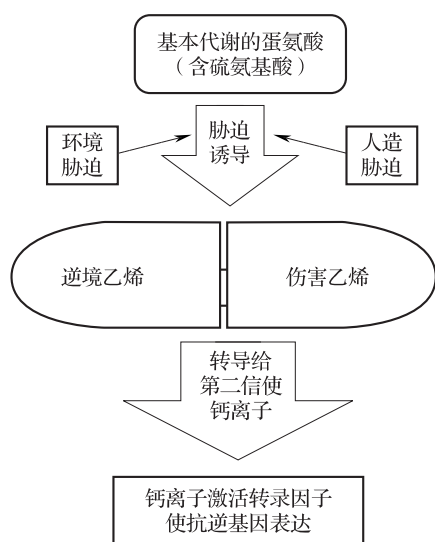


图4 胁迫诱导作物形成抗逆生理过程示意图

伴随着对作物的胁迫及时补充矿物质营养，对增强作物的抗逆性、提高品质和农产品风味非常有

效，使农产品富含超氧化物歧化酶（SOD）、维生素C、维生素E、类黄酮类、类胡萝卜素或称类帖、甾类等物质，是增强人体免疫力的最好营养品^[35]。

植物次生代谢涉及众多的代谢调节、信号转导和防卫物质，最终产物为小分子有机物贮存在液泡或细胞壁，中、微量元素参与次生代谢的产物生成和转运^[35]。植物生理学和基因组学的研究表明，作物抗逆性存在共同机制^[36]：用共同的受体、共同的信号传递途径，传递不同的逆境信号，诱导共同的基因，调控共同的酶和功能蛋白，产生共同的代谢物质（Allelochemicals），在不同的时空抵御不同的逆境，这就是植物最经济高效的抗逆防御体系。这一结论也证实了在作物生长早期人为对作物进行略带伤害性的胁迫的生理意义^[37]。

作物的环境胁迫是指植物受到淹水、干旱^[38]、低温、高温、盐渍、辐射、病虫害侵害、毒物伤害、微生物入侵，有学者归结于生理干旱作用^[37]；另一说法是作物在环境胁迫下体内会产生一系列有害活性氧，活性氧会攻击蛋白质的氨基酸残基形成羰基衍生物，还能引发磷脂的过氧化，造成膜系统的氧化损伤，被称为氧胁迫^[39]（图5）。环境胁迫对植物是天赐的良机，因为作物在遭受逆境环境攻击的数分钟，局部的防御反应已被激活，几小时内，在离攻击部位很远的组织内的防御反应也被激活，从而建立起抵抗各种不利环境的作物体内最经济有效的逆境防御系统。

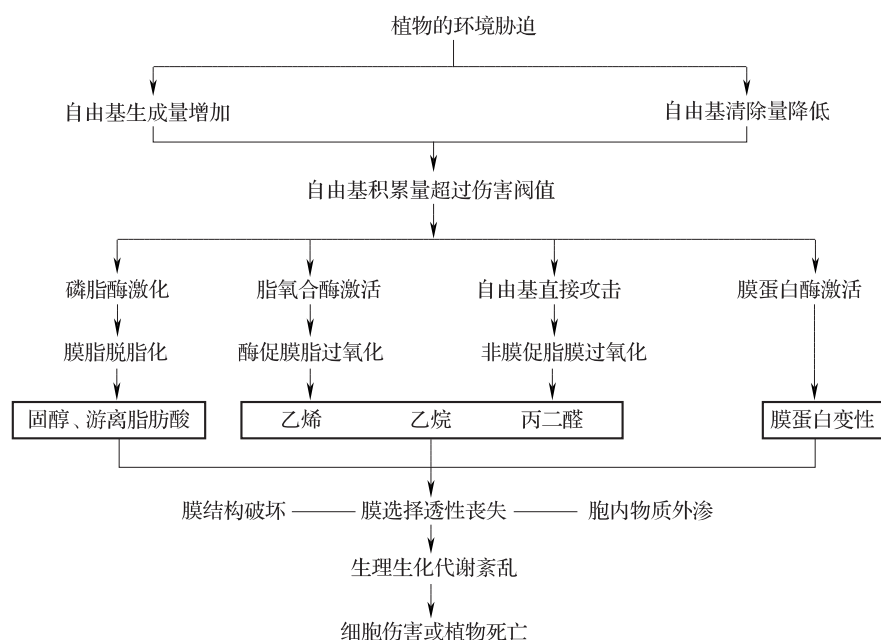


图5 环境胁迫引起的植物体内自由基的破坏作用示意图

作物的人造胁迫或称为诱导胁迫,传统的插秧、移栽、中耕、除草、环割、断根、修剪、打杈、抹赘芽、多次收割、多次采摘,都是略带伤害性的胁迫,可开启植物次生代谢;有益微生物菌与作物进行物质和能量交换活动跨越细胞膜,均可归为人造胁迫。人造胁迫可产生诱导性系统抗性,可在病、虫、草害和灾害性天气到来之前开启次生代谢,同时添加必需的矿物质营养,让作物自动调控体内共同的酶和功能蛋白,从而积累起系统抗性物质,可以代替打农药,并能减轻灾害性天气对农作物的伤害,起到四两拨千斤的效果^[38]。

很多人把获得作物抗性和品质指标寄托在转基因技术上^[40],认为该技术可把某些动、植物的具有特殊代谢功能的基因片段^[41]转移到目标作物上并使其表达^[42-43],抗虫棉就是一例证。抗虫棉的抗虫基因源于苏云金芽孢杆菌的 Bt 基因,能抗棉铃虫等害虫,但其存在棉花的纤维质量不高、易感黄萎病、种子贵等问题^[44-46]。而从植物生理学视角看,农作物抗性和品质的提高可以通过胁迫和营养解决;因为植物在进化过程中为了适应环境,其次生代谢会产生抗逆性物质和品质物质;次生代谢是在胁迫中产生的,也会在胁迫中再现,人类从事的农业生产活动如果能够充分利用这一功能,可以少走很多弯路。

4.2 次生代谢产物中的抗性物质以及品质和风味物质

植物新陈代谢除了有维持生命和生长的基本代谢,还有适应环境的次生代谢^[47]。基本代谢包括光合和呼吸作用、遗传物质产生、氮代谢、碳代谢,最终形成植物的根、茎、叶、花、果实、种子。次生代谢是在受到胁迫后开启并运转,其产物是形成植物各个器官抵抗不良环境和提高生存竞争能力的功能性物质^[39];抗击病、虫、草害和灾害性天气的物质,能除草物质,具有自身修复功能的物质,形成优良品质和独特风味物质^[47]。

植物在逆境环境中^[47]一般需打开 20 条次生代谢途径,其中有 5 条与形成植物的抗逆性、品质和风味有关,其功能如下所述^[48]:

氨基酸生物碱代谢途径:生物碱产生脯氨酸;生物碱具有抗旱、涝、冷、热、早衰和杀虫杀菌作用,吲哚生物碱能直接杀蚜虫;生物碱是农产品品质和风味的重要组成。

芳香剂酚类衍生物代谢途径:酚类衍生物由莽

草酸代谢产生;酚类衍生物具有植物杀菌、伤口愈合、防腐败作用,可延长农产品的货架期,酚类衍生物对人类有防癌作用;其中的芳香类化合物是食品风味组成成分。

类黄酮类代谢途径:黄酮类由丙二酸途径产生,由乙酰辅酶 A 到乙酸聚乙酰途径合成;类黄酮类化合物是杀灭各种植物真菌病害的有效物质,对人类来说是增强免疫力的药物;类黄酮也是食品风味组成成分。

有机酸次生代谢途径^[48]:有机酸的产生比较复杂,其前体三羧酸循环本属于基本代谢,是呼吸作用的核心代谢途径之一,其氧化磷酸化过程产生高能磷酸键(ATP)和二氧化碳(CO₂)属于呼吸作用,但当在某种胁迫环境下使这个过程不再产生 ATP 和 CO₂,而是将在三羧酸循环中所形成的柠檬酸、草酰乙酸、丙酮酸、 α 异戊二酸等物质脱离三羧酸循环系统,直接进入植物的体液储藏起来,形成植物体内的酸性环境,这一过程已不属于基本代谢,而是有机酸次生代谢,最终形成各类有机酸类化合物。有机酸可使植物体内液泡 pH 值小于 4.2,能够杀死进入植物体内的细菌性病原体;有机酸代谢与糖代谢产物联合组成不同比例的糖酸比,是形成食品风味的重要组成。

异戊二烯焦磷酸酯代谢途径:发现该途径的学者已经获诺贝尔生理学医学奖,异戊二烯焦磷酸酯代谢是由甲羟戊酸到异戊二烯磷酸脂途径合成类萜、甾类化合物;类萜和甾类化合物能杀死各种害虫、线虫、细菌性、真菌性和各类病毒性病原体;萜烯类和甾类化合物的进一步反应形成脱落酸与脯氨酸、甜菜生物碱,共同实现抵抗灾害性和抗早衰的作用;类萜也是风味组成成分^[48]。

不同的次生代谢途径产生不同的化感物质,而化感物质在不同学科里赋予了不同的称谓,不同的代谢途径在植物体内的生理功能也有差别(表 3)。

次生代谢产物中具有防止其他生物入侵的相生相克的物质^[49-50],还有清除杂草的物质^[51],中草药特殊有效物质等^[52]。

对农产品质量检测可考虑用作物代谢产物的多少作为指标,比如:生物碱、酚类衍生物、类黄酮类化合物、类胡萝卜素、超氧化物歧化酶、风味物质;这些成分含量高低有明显排他性,恰恰反映出种植者的理念和生产技能。

表3 植物次生代谢的化感物质的功能^[33]

| 化感物质 | 次生代谢途径 | 不同学科称谓 | 主要功能 |
|----------|----------------|-------------------------|------------------------------------|
| 吲哚生物碱 | 氨基酸生物碱代谢途径 | 植保界: 杀虫剂 | 杀蚜虫 |
| 脯氨酸 | 氨基酸生物碱代谢途径 | 渗透调节物质 | 与甜菜生物碱、脱落酸一起共同抗击灾害性天气 |
| 多种氨基酸 | 与基本代谢相结合的氨基酸 | 氨基酸 | 是品质指标, 合成蛋白质和各种酶类; 是风味物质, 对人类有益 |
| 甜菜生物碱 | 氨基酸生物碱途径 | 渗透调节物质 | 与脯氨酸、脱落酸一起抗击灾害性天气 |
| 脱落酸 | 异戊二烯焦磷酸酯途径下一反应 | 渗透调节物质 | 与脯氨酸、甜菜生物碱一起抗击灾害性天气 |
| 芳香剂化合物 | 芳香剂酚类衍生物途径 | 芳香剂 | 信号物质; 口感良好, 属于品质物质 |
| 类黄酮类化合物 | 类黄酮类化合物途径 | 植保界: 杀菌剂; 医学界: 维生素 P | 杀真菌性病原体; 也杀进入人体的真菌, 增强人体免疫力 |
| 有机酸 | 有机酸代谢途径 | 有机酸 | 植物体内 pH < 4.2 能杀死细菌性病原体; 风味物质、品质物质 |
| 不同比例的糖酸 | 有机酸代谢与糖代谢联合组成 | 糖酸比 | 花果的糖酸吸引益虫传粉和传播种子, 糖酸比是品质指标 |
| 酚类衍生物 | 芳香剂和酚类衍生物代谢 | 酚类 | 防腐败, 可延长农产品的货架期 |
| 类萜和甾类化合物 | 异戊二烯焦磷酸酯代谢 | 植保界: 杀虫剂 和杀菌剂 | 杀植物害虫、线虫、真菌和病毒性病原体, 防治人类心血管病 |

作物的次生代谢产物中含有很多对人类健康有巨大影响的生理活性物质: 维生素 E、超氧化物歧化酶、烟酸、酚类化合物、类胡萝卜素、前花青素、青蒿素、儿茶酚、类黄酮类化合物等有益物质。

综上所述, 在作物有机高产优质栽培中综合技术体现在足量碳、有益微生物菌群、天然矿物质和田间管理 4 项技术, 单独使用一项或两项技术没有可持续性, 也没有显著效果, 具体操作: 前茬收获同时将鲜秸秆粉碎、均匀撒矿物质肥料和喷微生物菌剂、深翻至 25 ~ 30 cm 土壤中; 基肥配方有机肥、微生物肥或部分添加矿物质肥; 种子处理用营养拌种剂拌种, 喷在种子上拌匀晾干后可播种; 田间管理在间苗、铲、趟、耘等管理后须紧跟一次植物营养液和微生物菌剂叶面喷洒, 作物出现衰弱还需追加, 这就是胁迫加营养的做法; 喷施时间在太阳落前效果好; 活秆收获农作物自然成熟的好处: 一是保障农产品品质, 二是鲜秸秆营养丰富, 水分足, 微生物作用下秸秆能快速降解。

5 结论

目前我国农业中普遍存在过量使用氮、磷、钾肥, 同时使用农药和除草剂控制病虫害, 此模式已走到瓶颈期, 有学者认为已无经济学意义^[53], 采用减少化肥用量逐步过渡到中国有机农业是可

行之路; 中国式有机农业采取以防为主方针, 为作物提供生长所需的营养, 用略带伤害性胁迫打开作物的次生代谢, 生产出营养价值高、抗逆性强、风味独特、耐储存、产量高的农产品。此技术体系有理论意义也有社会生态意义, 值得进一步研究和推广。

参考文献:

- [1] 塞利纳斯. 医学地质学自然环境对公共健康的影响 [M]. 郑宝山, 译. 北京: 科学出版社, 2000.
- [2] 农业部种植业司. 全国耕地质量等级情况公报 [N]. 人民日报, 2014-12-18.
- [3] 李慧. 谁来挽救“超负荷”的土地? [N]. 光明日报, 2014-12-22.
- [4] 王永厚. 农业文明史话 [M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2006.
- [5] 马世铭, Sauerborn J. 世界有机农业发展的历史回顾与发展动态 [J]. 中国农业科学, 2004, 37 (10): 1510-1516.
- [6] 高保衡. 黄帝内经素问 [M]. 北京: 人民卫生出版社, 2012.
- [7] 廖宗文. 平衡施肥勿忘补碳 [EB/OL]. [2015-02-06]. <http://entanf.com/news.view.asp?id=174>.
- [8] 比嘉照夫. 日本琉球大学农用与环保微生物 [M]. 北京: 世界图书出版公司, 1999.
- [9] 比嘉照夫. 日本琉球大学拯救地球大变革 [M]. 北京: 中国农业大学出版社, 1984.
- [10] 部坎南, 格鲁依森姆 W, 琼斯 R L. 植物生物化学与分子生物学 [M]. 礼嘉, 译. 北京: 科学出版社, 2004.
- [11] 秦宝军, 罗琼, 高森, 等. 小麦内生固氮菌及其 ACC 脱氨酶活性研究 [J]. 中国农业科学, 2012, 45 (6): 1066-

- 1073.
- [12] 孙建光, 胡海燕, 刘君, 等. 农田环境中固氮菌的促生潜能与分布特点 [J]. 中国农业科学, 2012, 45 (8): 1532-1544.
- [13] 孙建光, 罗琼, 高森, 等. 小麦、水稻、玉米、白菜、芹菜内生固氮菌及其系统发育 [J]. 中国农业科学, 2012, 45 (7): 1303-1317.
- [14] 陈倩, 高森, 胡海燕, 等. 一株拮抗病原真菌的固氮菌 *Paenibacillus* sp. GD812 [J]. 中国农业科学, 2011, 44 (16): 3343-3350.
- [15] 孙建光, 徐晶, 胡海燕. 中国十三省市土壤中非共生固氮微生物菌种资源研究 [J]. 植物营养与肥料学报, 2009, 15 (6): 1450-1465.
- [16] 孙建光, 张燕春, 徐晶, 等. 高效固氮芽孢杆菌筛选及其生物学特性 [J]. 植物营养与肥料学报, 2009, 42 (6): 2043-2051.
- [17] 张燕春, 孙建光, 徐晶, 等. 固氮芽孢杆菌 GD272 的筛选及其固氮性能研究 [J]. 植物营养与肥料学报, 2009, 15 (5): 1196-1201.
- [18] 孙建光, 张燕春, 徐晶, 等. 玉米根际高效固氮菌 *Sphingomonas* sp. GD542 的分离鉴定及接种效果初步研究 [J]. 中国生态农业学报, 2010, 18 (1): 89-93.
- [19] 林而达, 李玉娥, 郭李萍, 等. 中国农业固碳潜力与气候变化 [M]. 北京: 科学出版社, 2005.
- [20] 鲁如坤. 土壤-植物营养学原理和施肥 [M]. 北京: 化学工业出版社, 1998.
- [21] 韩晓日. 主要农作物营养失调症诊断图谱 [M]. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 1996.
- [22] 吴湘钰, 陈阅增. 普通生物学 (第三版) [M]. 北京: 高等教育出版社, 2009.
- [23] 崔澄. 植物中的微量元素 [A]. 中国科学院微量元素研究工作汇刊 [C]. 北京: 科学出版社, 1964.
- [24] 李继云, 匡廷云, 汪希彬. 微量元素在农业中的应用 [M]. 北京: 科学出版社, 1964.
- [25] 莫尔维德特 J J, 吉奥尔达诺 P W, 林赛 W L. 农业中的微量营养元素 [M]. 中国农业科学院土壤肥料研究所, 译. 北京: 农业出版社, 1984.
- [26] 汤佩松. 代谢途径的改变和控制及其与其它生理功能间的相互调节—高等植物呼吸及代谢的 (多条路线) 观点 [J]. 生物科学动态, 1965, (3): 1-13.
- [27] 长谷川奎治. 科学施肥新方法 [M]. 谭俊杰, 译. 北京: 化工出版社, 1990.
- [28] 王家钰. 植物营养元素交互作用研究 [J]. 土壤学进展, 1992, (2): 1-10.
- [29] 黄春生. 连作障碍的产生原因及改善途径 [J]. 上海蔬菜, 2010, (5): 62-64.
- [30] 邱立友, 戚元成. 植物次生代谢物的自毒作用及其与连作障碍的关系 [J]. 土壤, 2010, 42 (1): 1-7.
- [31] GB/T196030. 1-2011, 有机产品 [S].
- [32] Rice E L. Allelopathy. 2nd Edition [M]. Orlando: Academic Press, 1984. 422.
- [33] 刘立新. 科学施肥新技术与实践 [M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2008.
- [34] 刘立新, 梁鸣早. 推荐一种能提高肥料功能的方法—药食同源平衡施肥法 [J]. 中国土壤与肥料, 2009, (3): 82-85.
- [35] 刘立新, 梁鸣早. 用化肥开启植物次生代谢途径的原理与方法 [J]. 中国土壤与肥料, 2010, (1): 88-92.
- [36] 王中风, 应铁进. 植物乙烯信号转导研究进展 [J]. 植物生理与分子生物学报, 2004, 30 (6): 601-608.
- [37] 闵久康. 诱导技术及其代谢产物在农业生产中的重大应用 [A]. 农业生态生物化学和环境健康展望 [C]. 北京: 现代教育出版社, 2010. 2230-2237.
- [38] 孙芳, 夏新莉, 尹伟伦. 逆境胁迫下 ABA 与钙信号转导途径之间的相互调控机制 [J]. 基因组学与应用生物学, 2009, 28 (2): 391-397.
- [39] 刘立新, 梁鸣早. 植物次生代谢作用及其产物概述 [J]. 中国土壤与肥料, 2009, (5): 82-86.
- [40] 杨帆, 苗灵凤. 植物对于干旱胁迫的响应研究进展 [J]. 应用与环境生物学报, 2007, 12 (4): 586-591.
- [41] 屈霄霄, 胡宗利. 番茄转录辅激活子基因 LeMBF1 在非生物胁迫中的抗性分析 [J]. 生命科学研究, 2010, 14 (4): 322-326.
- [42] 张永恩, 李潮海, 王群. 植物抗旱相关功能基因研究进展 [J]. 中国农学通报, 2004, 20 (12): 85-87.
- [43] 邓江明, 简令成. 植物抗冻机理抗冻基因表达及功能 [J]. 植物学通报, 2001, 18 (5): 521-530.
- [44] 边红武. 脱水蛋白和 CBF1 转录因子对植物抗旱性和抗冻性作用的研究 [D]. 杭州: 浙江大学, 2003.
- [45] 张红. 植物耐盐基因工程的研究 [J]. 德州学院学报 (自然科学版), 2004, 20 (4): 73-75.
- [46] 张向前, 江院, 卢小良. 基于基因组学的作物抗旱改良 [J]. 中国农学通报, 2007, 23 (9): 90-95.
- [47] Molish H. Der einfluss einer pflanze auf die andere - allopathy [M]. Fisher, Tena., 1937.
- [48] 李晓颖, 谭洪花, 房经贵, 等. 果树果实的风味物质及其研究 [J]. 植物生理学报, 2011, 47 (10): 943-950.
- [49] 孔垂华, 胡飞. 植物化感相生相克作用及其应用 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2001.
- [50] 孔垂华. 21 世纪植物化学生态学前沿领域 [J]. 应用生态学报, 2002, 13 (3): 349-353.
- [51] 林雄文, 何华勤, 郭玉春, 等. 水稻化感作用及其生理生化特性的研究 [J]. 应用生态学报, 2001, 12 (6) 871-875.
- [52] 陈静雯, 张丽. 植物化感作用的机理及应用前景 [J]. 生物学通报, 2008, 43 (11): 13-15.
- [53] 李淑杰. 吉林省土壤质量与土地利用结构优化研究 [D]. 长春: 吉林农业大学, 2012. 12-14.

[下转第 18 页]

- 分空间分布的指示克立格评价 [J]. 农业环境科学学报, 2007, 26 (6): 2118-2124.
- [24] Jordán M M, Navarro - Pedre O J, García - Sánchez E, et al. Spatial dynamics of soil salinity under arid and semi - arid conditions: geological and environmental implications [J]. Environmental Geology, 2004, 45 (4): 448 - 456.
- [25] 朱德兰, 吴发启. 不同地形部位土壤水分的年变化分析 [J]. 中国水土保持科学, 2003, 1 (4): 28 - 31.

Spatial variability of soil salinity in different seasons in Mosuowan irrigation area

QIAO Jiang-fei, WANG Hai-jiang*, LI Ya-li, WANG Fei, SONG Jiang-hui (Shihezi University of Xinjiang Department of Agricultural Resources and Environment, Shihezi Xinjiang 832000)

Abstract: The spatial variation of soil salinity in different seasons in Mosuowan irrigation area of Xinjiang was explored by soil sampling in both spring and autumn, and soil salinity was obtained by conductivity analysis, Arcgis 10.0 software was used for Geostatistical analysis. The results showed that, salt content of the soil profile of the soil layers increased with soil depth, the performance was of the bottom coalescence. The salt content in the southeast of study area was higher than that of the northwest, and it was higher in the spring of 2014 than the autumn of 2013. This was because the temperature was higher in spring than autumn. Groundwater levels in some areas rose by snow melt, making a strong evaporation of salt on the bottom to the topsoil. Salt content values in different seasons consisted with a lognormal distribution, and coefficients of variation were between 66% ~ 92%, with moderate spatial variability. Variation in topsoil was greater than the that of deeper layers. Half-way analysis of soil salt content variance results in 2013 and 2014 in the spring and autumn were simulated by Gaussian model, the exponential model and linear model fitting. Soil salt content of $C_0/(C_0 + C)$ values were between 31% ~ 42%. Salt content value showed moderate spatial autocorrelation, 0 ~ 100 cm soil salt was affected by both natural factors and human factors. The results provided a theoretical basis for soil salinization, improvement and utilization in the Mosuowan irrigation area.

Key words: soil profiles; salinity; seasons; spatial variability; geostatistics

[上接第 12 页]

The summarization of high quality organic agriculture technology system

LIANG Ming-zao¹, LU Sen², WANG Tian-xi³, GUANG Li-hu⁴, LU Yao², LI Xiu-feng², SUN Jian-guang¹, LIU Li-xin^{1*} [1. Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081; 2. Zhong Yuan (Beijing) Soil Improvement Technology Research Institute, Beijing 100011; 3. Shanxi Province Linfen City District of Yaodu Fenhe Amino Acid Factory, 041099; 4. Shanxi Province, Xinjiang County West Zhuanglihu Organic Vegetable Professional Cooperatives, Xinjiang 043110]

Abstract: According to the international practice of organic farming without the use of chemical fertilizers, pesticides, hormones and genetically modified materials, so people often put the organic cultivation and low yield, but now there is a technology to achieve high yield and quality. This paper summarizes the technology: 1) Organic farming to have plenty of carbon source; 2) Nitrogen from nitrogen fixing microorganisms and organic matter degradation of nitrogen; 3) Minerals phosphorus, potassium, calcium, magnesium, sulfur, copper, iron, manganese, zinc, boron, molybdenum, chlorine in the metabolism of essential; 4) Cultivation continue to create stress activates the immune force, make the crops in various parts and fruits produced resistance to diseases, insects and grass harm and anti disaster weather the sense of material, quality and flavor compounds. The perfect combination of the above four aspects, the product is the production of high quality, high quality, nutrition, storage, good flavor of agricultural products.

Key words: organic carbon; beneficial microorganism; natural minerals; stress; secondary metabolism; inducing resistance