

我国农业生产中的施肥理论与实践误区

王志民,蔡光泽,陈开陆,颜 朗,赖先军,罗 樊

(西昌学院,四川 西昌 615013)

摘要:分析了我国当前农业生产中植物营养学理论及其施肥实践存在的几个误区:植物必需营养元素分类误区;植物碳、氢、氧来源认识误区;植物必需营养元素生产重要性评价误区;化肥及有机肥肥效评价误区。针对误区带来的生产问题,提出了植物必需营养元素四级分类法及研制厌氧堆肥等对策措施。

关键词:植物必需营养元素;分类;来源;生产重要性;评价

中图分类号:S147.2 **文献标志码:**A **文章编号:**1673-1891(2019)02-0004-04

Misunderstandings over the Theory and Practice of Fertilization in Agricultural Production in China

WANG Zhimin, CAI Guangze, CHEN Kailu, YAN Lang, LAI Xianjun, LUO Pan

(Xichang University, Xichang, Sichuan 615013, China)

Abstract: In this paper, several misunderstandings over plant nutrition theory and fertilization practice in agricultural production in China had been analyzed. One is the misunderstanding over the classification of essential nutrients for plants. The second is the misunderstanding over the sources of plant carbon, hydrogen and oxygen elements. The third is the misunderstanding over the importance of production of essential nutrients for plants. And the fourth is the misunderstanding over the evaluation of chemical fertilizer and organic fertilizer efficacies. Regarding the production problems caused by those misunderstandings, a four-level classification of plant essential nutrients and solutions such as development of anaerobic compost are proposed.

Keywords: essential nutrient for plant; classification; source; importance of production; evaluation

施用肥料是农业高产、稳产的一项重要措施。相关资料表明,本世纪世界粮食单产的1/2、总产的1/3来自肥料的贡献。但近几十年来我国也存在有机肥减量、化肥过量、施肥浅表化、养分不平衡等问题,导致生产中养分利用率低,农产品品质下降,土壤肥力退化,环境污染严重。上述问题的产生原因很多,包括生产者对植物碳、氢、氧的认识误区,对化肥肥效的认识评价误区等。例如,彭琳对我国近年来粮食产量和化肥用量进行了实证分析,认为化肥施用对我国粮食产量的贡献率平均为46.43%^[1]。显然这是忽略了化肥施用后分解土壤有机质释放大量有机养分、矿质养分供应植物需求的结果。本文讨论了当前我国农业生产中施肥理论和实践中存在的各种误区,提出了对策措施。

1 植物必需营养元素的分类误区

依据植物营养学理论,目前公认的植物必需营

养元素有16种,即碳(C)、氢(H)、氧(O)、氮(N)、磷(P)、钾(K)、钙(Ca)、镁(Mg)、硫(S)、铁(Fe)、锰(Mn)、锌(Zn)、铜(Cu)、钼(Mo)、硼(B)、氯(Cl)。目前的植物营养学理论仍沿用过去的分类方法,即依据必需营养元素在植物体内的质量分数差异将其分为大量营养元素和微量营养元素两类,其中大量营养元素是指在植物体内的质量分数占植物干物质质量0.1%以上的元素,有碳(C)、氢(H)、氧(O)、氮(N)、磷(P)、钾(K)、钙(Ca)、镁(Mg)、硫(S)等9种。微量营养元素是指在植物体内质量分数占植物干物质质量0.1%以下的元素,有铁(Fe)、锰(Mn)、锌(Zn)、铜(Cu)、钼(Mo)、硼(B)、氯(Cl)等7种,近年来又将钙(Ca)、镁(Mg)、硫(S)单独划分出来称为次量元素或中量元素。这种分类法我们可称为“植物必需营养元素三类分类法”。

生产实践表明,“植物必需营养元素三类分类法”对必需营养元素的生产管理存在极大的指导误

收稿日期:2019-03-25

基金项目:西昌学院“两高”人才科研支持计划项目:厌氧堆肥的研制与试验(LGZ201707)。

作者简介:王志民(1962—)男,重庆涪陵人,教授,学士,研究方向:土壤改良与环境保护。

区,1是以元素占植物体干物质质量分数作为分类标准,忽略了必需营养元素在活体植物中的生理作用,应改为用元素占植物鲜质量比例作为分类指标;2是“三类分类法”分类指标单一,仅以元素占干物质质量分数“千分之一”作为标准,忽略了必需营养元素在植物体内含量及需要量的巨大差异,以碳-氮为例,植物体平均质量分数为18%~0.3%,但“三类分类法”均将其归为大量必需营养元素,导致生产中对必需营养元素的生产重要性评价产生误区。根据必需营养元素在植物体内占植物鲜重的平均质量分数状况,拟改为“大于百分之一”、“百分之一至千分之一”、“千分之一至万分之一”、“小于万分之一”等4个标准,这种分类法可称为“植物必需营养元素四级分类法”。

根据吴礼数(《土壤肥科学》,2013)植物体内主要化学元素的平均含量表,新鲜的植物体氧质量分数最高,碳次之,硼最低,见表1。

表1 植物体内必需营养元素的平均鲜质量占比 %

植物必需营养元素	质量分数	植物必需营养元素	质量分数
氧	70	硫	0.05
碳	18	铁	0.02
氢	10	氯	0.01
氮	0.30	锰	1×10^{-3}
磷	0.07	锌	3×10^{-4}
钾	0.30	铜	2×10^{-4}
钙	0.30	钼	3×10^{-4}
镁	0.07	硼	1×10^{-4}

根据必需营养元素四级分类法,氧、碳、氢3种元素的平均质量分数均大于1%,表明其在植物体内的质量分数及需要量极大,拟定为大量必需营养元素;氮、钾、钙3种元素平均质量分数均为0.3%,拟定为中量必需营养元素;磷、镁、硫、铁、氯5种元素平均质量分数介于0.01%~0.07%,拟定为少量必需营养元素;锰、锌、铜、钼、硼5种元素平均质量分数小于0.01%,表明其在植物体内的质量分数及需要量极少,拟定为微量必需营养元素。

与植物必需营养元素三类分类法相比,四级分类法强调植物体的主要构成元素是氧、碳、氢,这3种元素占植物体质量的98%,而氮、磷、钾只占植物体质量的0.67%,按照“植物必需营养元素质量分数高、需量大理论”^[2],农业生产中必需营养元素的调节管理,应首先调节氧、碳、氢来满足植物大量元素需求,适量调节氮、磷、钾、钙、镁、硫等中量元素、少量元素和微量元素需要。

过去将氮、磷、钾定义为植物营养三要素,指导

生产中长期大量施用氮磷钾肥,导致土壤有机质大量分解、土壤供碳能力逐步降低,目前缺碳土壤增施氮磷钾肥反而引起作物产量下降。因此建议将植物营养三要素修改为碳、氢、氧。

2 植物必需营养元素碳氢氧的来源误区

现代植物营养学理论认为,植物吸收的碳、氢、氧来自于二氧化碳和水,而其他必需营养元素几乎全部是来自于土壤。只有豆科植物有固定空气中氮气(N₂)的能力,植物的叶片也能吸收一部分气态养分,如二氧化硫等^[2]。上述表述,产生一个误区,即植物吸收的碳、氢、氧均来自于空气中的二氧化碳和水,与土壤无关。除碳、氢、氧外的其余必需营养元素则几乎全部来自于土壤,调节土壤养分,主要是调节除碳、氢、氧外的其余必需营养元素。

以植物生长的土壤——大气系统中碳、氢、氧三元素物质存在方式及运行循环轨迹分析,植物吸收的碳、氢、氧,既有来自于地上部空气和水中的碳、氢、氧,也有来自于土壤水分、土壤空气和土壤有机质中的碳、氢、氧,这两种来源对于植物碳、氢、氧的营养需求同等重要。

2.1 植物必需营养元素氧来源

植物生长的土壤——大气系统中,含氧的物质主要有大气中的氧气(O₂)、水和土壤有机质分子结构中的氧(O)及含氧矿物质结构中的氧(O),除不溶性矿物质中的氧不能被植物吸收外,其余物质中的氧均可被植物吸收利用而成为植物氧的来源。由于大气中氧气平均质量分数高达20.8%,加之地表水量较大,植物吸收的氧主要来自于大气中的氧气和水(H₂O),少量来自于土壤有机质和部分含氧矿物质如CO₂、H₂PO₄⁻、SO₄²⁻结构中的氧。对植物而言,氧气、水既是植物生长所需的环境要素,也是植物氧的营养因子。因此,可将空气(包括含氧较高的土壤空气)、水分定义为植物第一营养因子,要获得农业高产,首先必须满足植物充足适宜的水分需要和良好的土壤通气能力。

2.2 植物必需营养元素碳来源

植物生长的土壤——大气系统中,含碳的物质主要有大气中的CO₂、土壤空气中的CO₂、土壤有机物分子结构中的C、含C矿物质(碳酸盐类等)结构中的C等。

过去认为植物吸收的C主要来自于大气中的CO₂,因此,生产中不需要调节、补充植物C素供给。但目前很多报道表明,大气中CO₂浓度平均质量分数仅有0.03%,而植物CO₂饱和需量浓度为

1%-2%^[3],自然状况下,来自于大气中的CO₂远远不能满足植物C素营养需求。植物C素另一重要来源应是土壤中水溶性含C有机物及其矿化释放的CO₂。当来源于大气中的CO₂不足时^[4],土壤中水溶性含C有机物及其矿化释放的CO₂供应充足与否,将极大地影响植物的生长。

2.3 植物必需营养元素氢来源

植物生长的土壤——大气系统中,含氢的物质主要有大气中的气态水(H₂O)、土壤空气中的气态水(H₂O)、土壤液态水(H₂O)、土壤有机物分子结构中的氢(H)、土壤含氢矿物质等。除不溶性有机物和不溶性矿物质中的氢不能被植物吸收利用外,其余物质中的氢均可被植物吸收利用而成为植物氢的来源。由于地表水量大,加之根系是植物吸水的主要器官,所以植物的水分来源以土壤液态水占比最大,大气和土壤空气中的气态水也是多数植物水分的重要来源。植物体的氢元素营养水平取决于气候和土壤保水供水能力,同样,可将空气、水分(以土壤液态水为主)定义为植物第一营养因子,要获得农业高产,首先必须满足植物充足适宜的水分需要。

3 植物必需营养元素的生产重要性评价误区

植物必需营养元素具有同等重要律和不可替代律,即植物必需营养元素不论其在植物体内质量分数的高低,在植物营养上的地位是同等重要的;任何一种必需营养元素的特殊功能都不能被其他元素所代替。同等重要律应理解为各必需营养元素特殊的生理功能具有同等重要的营养地位,但它们在农业生产中的生产重要性并不相同。必需营养元素的生产重要性,取决于作物对该元素的生理需要量与环境或土壤供给量的相对比值,若环境或土壤供给量超过作物生理需要量,该元素不需要人类补充调节,且供给量过量超过植物生理需要量,会影响植物对其他元素的同化利用,如植物过量的吸收N素,会影响植物对C素的同化利用,影响植物体内氨基酸、蛋白质的合成,降低植物体C/N,最终影响农产品营养品质。而供给量低于植物生理需要量,该元素需要人类补充调节,且供给量过量低于植物生理需要量,会出现该元素专一的缺素症状而抑制生长。因此,农业生产中必需营养元素的重要性取决于植物生理需要量与环境或土壤供给量的差值,差值越大,生产重要性越大。

植物必需营养元素的生理需要量与其在植物体内的质量分数正相关,可用其质量分数表示生理

需要量,质量分数越高、生理需要量越大。而必需营养元素的环境或土壤供给量则与生产区域的气候、生物、地形、母质、时间、生产管理水平等因素密切相关,总的趋势表现为高温多雨的气候特征、微弱的生物小循环、易侵蚀冲刷的地形地貌、养分元素质量分数低的母质、发育深刻的土壤、生产管理水平低的环境或土壤必需营养元素供给量低。由于供给量的影响因素多影响结果变化大,生产中具体地块的必需营养元素的生产重要性应根据地块环境、营养元素来源物质状况、施肥管理水平和土壤性质测定后作出评价。

根据各必需营养元素的主要来源物质状况和我国目前施肥管理水平,可概略分析、评价必需营养元素的生产重要性,见表2。

表2 必需营养元素的生产重要性评价表

元素类型	生理需要量/%	环境或土壤供给量	生产重要性评价	主要来源物质
氧	70	+++++	××	大气、土壤空气、水
碳	18	+	×××××	大气、土壤空气、有机质
氢	10	+++++	×	液态水、气态水、有机质
氮	0.3	++	×××	有机质、氮肥
磷	0.07	++	×××	矿物质、有机质、磷肥
钾	0.3	++	×××	矿物质、生物残体、钾肥
钙	0.3	+++	××	矿物质、生物残体、钙肥
镁	0.07	+++	××	矿物质、生物残体、镁肥
硫	0.05	++++	××	矿物质、生物残体、硫肥
铁	0.02	++++	××	矿物质、生物残体、铁肥
氯	0.01	+++++	×	矿物质、生物残体、氯肥
锰	1×10 ⁻³	++++	××	矿物质、生物残体、锰肥
锌	3×10 ⁻⁴	++	×××	矿物质、生物残体、锌肥
铜	2×10 ⁻⁴	++++	××	矿物质、生物残体、铜肥
钼	3×10 ⁻⁴	++++	××	矿物质、生物残体、钼肥
硼	1×10 ⁻⁴	++	×××	矿物质、生物残体、硼肥

注:(1)表中“+”表示元素环境或土壤供给量状态。(2)表中“×”表示元素的生产重要性评价结果。

表2表明,氧元素植物生理需要量最大,但大气、土壤空气、水能大量供给,使氧元素生产重要性较低。碳元素植物生理需要量大,大气、土壤空气及有机质低的土壤供碳能力弱,是我国目前有机质质量分数低的土壤生产重要性最高的元素。氢元素植物生理需要量大,但液态水、气态水、有机质能大量供给,使氢元素生产重要性低。氮、磷、钾植物生理需要量小,由于目前我国土壤有机质质量分数低、供给能力低,其供给能力取决于施肥量,施肥高的土壤供给能力高,反之供给能力低,使氮、磷、钾

的生产重要性较高。其余元素需要量少,供给量主要取决于生物残体归还量,生产重要性小于碳、氮、磷、钾。

4 化肥肥效评价误区

农业生产需多种要素的共同投入,包括土地、劳动力、种子、化肥、农药等生产要素,现有条件下,我国农业产量的提高主要依靠科技进步推动的新品种、化肥和生产管理的进步,其中施用化肥无疑是提高单产的重要因素。我国粮食生产近50年统计资料表明,粮食产量与化肥使用量密切相关,见表3。

表3 我国粮食产量与化肥施用量年际变化量表

年份	粮食总 产量/万t	粮食十年 递增率/%	化肥使 用量/万t	化肥十年 递增率/%	吨化肥粮食 产量/(t·t ⁻¹)
1965	19 453	—	194.2	—	100.20
1975	28 452	46.26	536.9	176.40	52.90
1985	37 911	33.25	1 775.8	230.70	21.40
1995	46 661.8	23.08	3 593.7	102.40	12.90
2005	48 402.2	3.73	4 766.2	32.62	10.15
2015	62 143.5	28.39	7 037	47.64	8.83

注:数据来源,中国统计年鉴。

表3表明,1965年至2015年,我国粮食产量增长率219.4%,年均递增4.38%。化肥施用量增长率3523.6%,年均递增70.44%。表明粮食产量与化肥用量密切相关。国内学者采用多种方法分析了我国粮食增产的主要影响因素,表明施用化肥是20世纪中国粮食增产的主要因素,如彭琳对我国粮食产量和化肥用量进行了实证分析,根据试验资料与调查结果,化肥施用对粮食产量的贡献率平均为46.43%。同时,统计资料也表明,化肥用量增长率远高于粮食产量的增长率,每吨化肥产出粮食产量由1965年的100.2 t降至2015年的8.83 t,年均递减1.83 t。上述问题的主要原因,除化肥表施、浅施,大量元素、中微量元素配合比例失调,偏施化肥、不施或少施有机肥等不合理施用导致化肥肥效难以发挥、土壤肥力逐年降低等因素外^[5],最主要的问题是生产中对化肥肥效的评价存在误区,客观分析,化肥的增产效果不全是化肥本身的作用,而是化肥激活了土壤微生物加速土壤有机质分解供应多种有机养分和矿质养分的效果,是化肥供应单一养分+化肥分解有机质供应多种养分的共同作用,由于效果显著,会诱导农户逐年大量超量施用化肥,从而加剧有机质分解、加剧土壤破坏^[6]。

生产中施用化肥特别是氮肥的表观肥效极为明显,施用氮肥后作物长势明显健壮,产量显著提

高,生产者会认为是氮肥的直接增产作用。但氮肥施入土壤后主要提供大量N素,而植物生长需要16种必需营养元素协调充足的供应,因此,氮肥除释放N素产生肥效外,更主要的肥效在于激活土壤微生物分解土壤有机质释放出16种必需营养元素的肥效。以生产中施用量最大的尿素为例,施用50 kg尿素,在土壤中释放23.3 kg纯N,其中约30%被当季作物吸收利用,部分流失、挥发、反硝化损失,约40%~50%残留土壤。按微生物适宜养料C/N20-25:1、土壤有机质含碳58%测算,将分解土壤有机质402 kg,有机质的分解除释放结构养分元素402 kg外,按有机质阳离子代换量平均300 cmol/kg计算,还将释放 1.2×10^5 cmol吸附态养分,这才是尿素肥效显著的内在原因。目前生产中已表现出当土壤有机质质量分数处于极低水平时,持续增加尿素用量将导致作物减产,究其原因是尿素不能分解土壤有机质释放多种养分的结果,尿素肥效与土壤有机质有联动效应,有机质质量分数越高氮肥肥效越好。生产中提倡有机肥-无机肥配合施用,配合比应高于8:1才能维持土壤有机质矿化与腐化的基本平衡,这也是配方施肥的首要标准。

5 有机肥肥效评价误区

凡以有机物质(复杂的含碳化合物)作为肥料的均称为有机肥料。包括秸秆还田、绿肥、人粪尿、厩肥、堆肥、饼肥、沼气肥等。具有种类多、来源广、肥效较长等特点。有机肥料所含的营养元素多呈有机状态,作物难以直接利用,须经微生物作用,缓慢释放出营养元素,源源不断地供给作物需要。

目前,我国农业生产中对有机肥的肥效评价存在误区,直接导致我国有机肥使用及生产方式产生误区,影响了有机肥肥效的发挥。以目前生产中所用的作物秸秆、堆肥两大类有机肥为例,作物秸秆含大量的有机物、生物能和植物必需营养元素,相关资料表明,稻草秸秆的粗蛋白、中性洗涤纤维、木质素质量分数分别为5.1%、61.9%、4.6%。每吨秸秆含生物能折合标准煤0.212 t。含16种植物必需营养元素。秸秆还田后,在土壤中缓慢矿化分解,可释放供应氨基酸、酰胺、简单的糖类、有机酸等有机养分,也可释放供应16种矿质态必需营养元素,更为重要的是将全量秸秆生物能释放在土壤中,满足异养型微生物对能量的需求,可大量培养土壤微生物,提高土壤生物活性,提高土壤肥力。而堆肥主要以作物秸秆为原料,添加绿肥、杂草等有机材

[3] 吉克马麻.优良地方羊品种——美姑山羊[J].农村百事通,2018(7):32.

[4] 王杰,刁其玉,张乃锋.代乳品对早期断奶羔羊生长发育和生理机能的调控作用[J].家畜生态学报,2015,36(8):86-89.

[5] 马友记,董琪利,李发弟,等.舍饲绵羊产后30天产奶量及乳成分变化规律[J].草业学报,2013,22(5):287-293.

[6] 吕亚军.滩羊产后1~30天泌乳规律及1~30日龄羔羊营养需要量研究[D].杨凌:西北农林科技大学,2008.

[7] 赵晓娥,俞晓丽,李运生,等.泌乳期小尾寒羊5种生殖激素的变化规律研究[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2011,39(10):63-70.

[8] 王玉琴,王占彬,吴秋珏,等.河南奶山羊及其杂种羊泌乳早期乳成分动态变化[J].食品科学,2010,31(1):63-65.

[9] 张君艳,刘月琴,张英杰.河北绒山羊羔羊早期断奶技术研究[J].饲料工业,2016,37(5):51-55.

[10] 周雪,付利芝,杨柳,等.荣昌猪初乳和常乳主要成分及钙含量分析[J].中国畜牧杂志,2015,51(23):76-78.

[11] 吴伟宗,姜明涛,刘闯,等.猪初乳和常乳的差异蛋白质组成分析[J].中国畜牧杂志,2015,51(13):25-29.

[12] 郭春华,黄艳玲,李世丹,等.简阳大耳羊不同泌乳期乳成分含量动态变化[J].黑龙江畜牧兽医,2010(21):58-60.

[13] 刘益丽,江明锋,江伟华,等.麦洼牦牛全泌乳期乳中矿物质元素变化规律研究[J].中国畜牧兽医,2014,41(6):112-116.

[14] RESENDE KT, RIBEIRO S D D, DE ALMEIDA A K, et al. Energy and protein requirements during the growing phase of indigenous goats[J]. Semina-Ciencias Garias,2018,39(1):241-251.

[15] 赵有璋,张英杰.羊生产学[M].3版.北京:中国农业出版社,2014,250-252.

[16] 孟庆蕊.陕北白绒山羊羔羊培育试验及生长发育指标监测[D].杨凌:西北农林科技大学,2017.

[17] 臧文娟.山羊乳腺上皮细胞中5-HT对PTHrP的调控作用研究[D].杨凌:西北农林科技大学,2016.

[18] 齐利枝,闫素梅,生冉,等.奶牛乳腺中乳成分前体物对乳成分合成影响的研究进展[J].动物营养学报,2011,23(12):2077-2083.

[19] 生冉,闫素梅.催乳素与其他激素对乳腺内乳成分合成的协同调节作用[J].动物营养学报,2014,26(6):1435-1443.

[20] 李真,李庆章.奶山羊乳腺发育过程中生长激素、胰岛素及其受体的变化规律研究[J].中国农业科学,2010,43(8):1730-1737.

[21] 王月影,朱河水,王艳玲.乳腺上皮细胞的钙转运研究进展[J].江西农业学报,2008(6):92-94.

[22] 郑涛,杨祖菁,钱林溪.乳腺上皮细胞微量元素转运机制研究进展[J].生命科学,2012,24(8):827-832.

(责任编辑:曲继鹏)

(上接第7页)

料与泥土、人粪尿等混合堆制,在通气条件下好氧发酵,产生大量热量,将有机养分大量转化为矿质养分,碳氮比值降低,并形成腐殖质。由于输气通氧、高温腐熟,将堆制的秸秆中的能量、C素、N素以热量、CO₂、NH₃等形态大量释放并散失于大气环境中,导致腐熟的肥料能量减少、C素N素损失严

重,其供能量能力、供C供N能力大幅下降。因此,有机肥的肥效评价应增加肥料能量、水溶性C和N素的保护与供应评价。现有条件下,参考青贮饲料的生产方式,可采用厌氧发酵的方式生产厌氧堆肥,提高厌氧堆肥产品的能量、水溶性C和N素质量分数。

参考文献:

[1] 郎贵飞,周奎.我国粮食产量和化肥施用量实证分析[J].现代商贸工业,2016,12(2):15-18.

[2] 王志民,蔡光泽,陈开陆,等.有机农业生产的非化学原则思考[J].现代农业科技,2017,20(8):257-260.

[3] 吴礼数,谭启玲,周卫军,等.土壤肥科学[M].北京:中国农业出版社,2013.

[4] 王修兰.CO₂浓度增加对作物影响的实验研究进展[J].农业工程学报,1995,11(2):103-108.

[5] 张世明.秸秆生物反应堆技术[M].北京:中国农业出版社,2012.

[6] 杨吉祥,马平平.浅谈农药化肥的负面作用及对策[J].中国园艺文摘,2009,6(15):158-160.

(责任编辑:曲继鹏)