

作物养分平衡与高产栽培 ——兼论作物栽培科学现代化

Nutrient Balance and High-Yielding Culture of Crops

汪定淮

(北京市农林科学院, 研究员)

沈烈

(北京市农林科学院, 助理研究员)

世界稻谷、小麦、玉米平均亩产分别只有221.3公斤、154.3公斤和213.0公斤, 但所创造的高产纪录已经达到了很高的水平。澳大利亚、美国和日本先后创造了亩产稻谷1 097公斤、1 089.6公斤和876.6公斤的纪录。我国徐州农科所的杂交稻也达到了亩产900公斤。美国的灌溉小麦和旱地小麦亩产最高达到940.5公斤和607.5公斤; 我国青海省诺木洪农场曾创造了春小麦亩产792.7公斤(1973)的国内最高纪录; 宁夏回族自治区莲湖、巴浪湖两个农场一万多亩春小麦平均亩产超过了550公斤(1990)。我国新疆生产建设兵团131团在1 103.7亩面积上创造了玉米平均亩产1 031公斤的全国纪录(1990); 世界玉米最高亩产达1 554公斤(1985)。所有这些都向人们展示了粮食作物提高单产的巨大潜力。为进一步挖掘潜力, 作物栽培科学现代化将起重要作用。

一、作物栽培学的危机

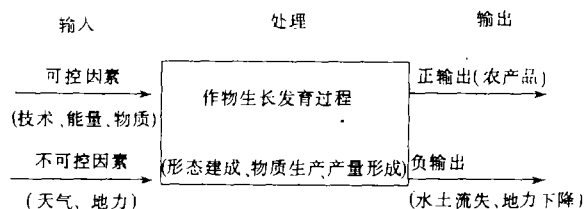
目前全球正面临着人口膨胀、耕地减少、沙漠化、环境污染和水资源短缺的严重挑战。生产足够的粮食和其它农副产品, 保护人类赖以生存的环境已成为十分紧迫的任务。我国是一个人口众多的发展中国家, 形势更为严峻。因此, 需要整个作物栽培科学的现代化, 以迅速提高土地生产率。

1. 关于高产栽培途径与高产栽培技术体系进展的思考

50年代作物栽培科学研究的重点是作物生育的各项环境因子及其变化规律。试验研究的目的是探索如何通过肥水运筹和其它措施来造就一个

最理想的生育环境, 使作物能够实现合理的生育进程而取得丰产。代表这一时期作物栽培科学的主流方向是总结和推广劳模经验。当时的口号是:“看天、看地、看庄稼”。由于大多是经验性的模糊概念, 推广应用范围一般都不大。所谓“高产田”的标准大致为亩产 350 ± 50 公斤。

60年代初至70年代初, 作物栽培界的注意力由环境因子转移到了对作物本身外部形态指标的研究。重点是株高、分蘖、叶面积、叶色变化规律及其与栽培措施的关系, 目的是协调田间苗、株、穗、粒和粒重的关系, 培育结构合理的群体而取得高产。代表这一期间作物栽培科学主流和方向的是全国性的群体结构研究热和关于合理群体结构的大论战。通过群体结构研究成果的推广应用, 使高产田单产提高到了每亩 450 ± 100 公斤的水平。群体结构理论的局限性如图1所示。作物生产系统包括“输入”、“处理”和“输出”三大部分, 其中输入包括可控因素和不可控因素, 由于不可控因素的存



在和影响, 作物生产系统内各种关系多呈强非线性关系, 如施肥与株高、施肥与分蘖、施肥与穗数、叶龄与叶面积、叶龄与群体大小、施肥与产量等等。所谓“合理的群体结构”受空间和时间的严格

限制,并不反映普遍规律。因此,这类研究成果不能使大面积生产达到高产和超高产效果。

此后,在70年代中至80年代末先后又兴起了生育规律、指标化栽培、高产数学模型以及模式化栽培的研究热潮,研究深度和单产水平都有较明显的提高,但并未摆脱经验模式。研究成果在推广应用时,只要不是田间试验所具有的特定的时间和空间,就不能取得良好的效果。以目前作物栽培科学中最热门的模式化栽培为例,其基本途径是通过大量的田间试验取得不同处理的产量数据,然后用数理统计方法建立作物产量与多种相关因素的经验关系式,再用电子计算机对各种因素的不同组合进行筛选,确定高产模式,并用于大田生产。但是数理统计学常识告诉我们,所谓高产模式受到经验公式不能外推规则的严格约束,所以成果覆盖面必然不大,重现性自然也很差。

国外的情况也不比中国好多少。原苏联农学家热衷于从大范围天气、土壤带来研究和解释作物产量的形成和变化规律。欧美学者则偏重从作物生育模拟和环境模拟角度出发,采用模拟模型来解释高产栽培问题。二者都不能直接控制与规划大田作物生产,同样存在研究成果覆盖面小,重现性差的问题。

由于理论、技术上没有重大突破,国内外高产、超高产事例年年有,但真正按照预定方案实施而成功者为数极少。高产经验移植推广成功率很低,大大降低了研究成果的科学价值。

2. 常规土壤测试和植物分析的限制性

科学施肥是高产栽培的基础。为了克服施肥的盲目性,国内外农学家和农民对土壤测试和植物分析寄托了很高的希望。但是到目前为止,建立在临界养分含量理论上的土壤测试和植物分析所起的作用与人们的期望相距甚远,基本上不能作为推荐施肥的依据。

(1) 土壤测试与产量的相关性

前人关于土壤养分与产量相关性的研究成果可以用图2加以概括。

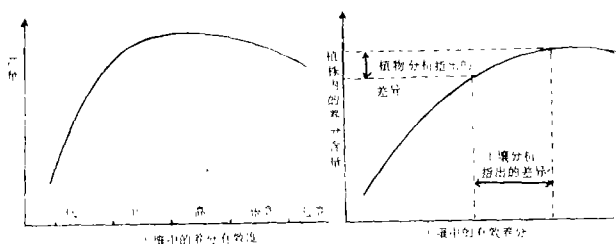


图2 土壤养分与作物产量、植物养分的关系

首先,当土壤中的有效养分在中、低含量范围时,产量与土壤养分增量之间有很好的正相关关系。此时,根据土壤测试作出的施肥建议有较高的

可靠性。其次,在最高产量范围内,产量与土壤养分含量相关性极低,同样产量水平下,土壤养分浓度范围很宽。第三,土壤养分达到一定水平之后,土壤测试还能较好地分辨土壤养分的差异,而植物体内养分浓度差异却很小,这说明土壤养分与植株养分之间并无很好的线性关系。可见,常规的土壤测试最多只能回答土壤中某种养分缺乏或足够的问题,却回答不了怎样施肥和施多少肥的问题,也就是说以土壤有效养分测试作为推荐施肥的依据是不理想的。

(2) 植物分析与产量的相关性

与土壤测试的情形相似,植物体内养分严重缺乏时,植物养分浓度与产量之间呈正相关。但是

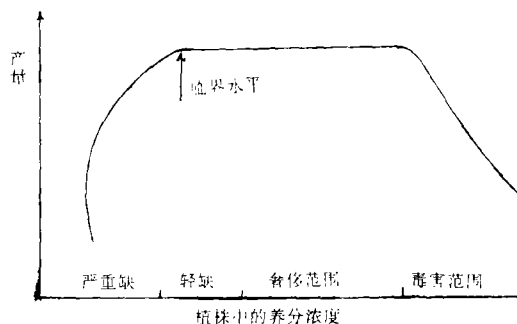


图3 植株养分浓度与产量的关系

当植物体内养分轻度缺乏或达到奢侈吸收量以上时,产量与植物分析之间的相关性很差(图3)。另外,在最高产量范围内,产量与植物分析也无明显关系,植物体内养分浓度可以相差很多而产量却无大差异。为了阐明植物分析与产量以及施肥的关系,萨姆纳(Sumner)搜集了6 000多份从抽雄到吐丝期间玉米叶片养分含量与产量的数据资料,并绘制成图4,使问题得到了比较清晰的答案。

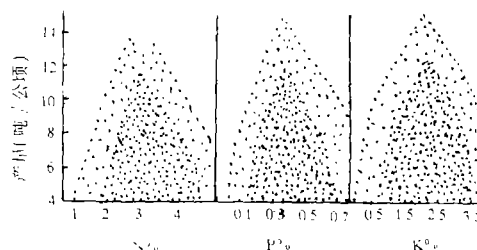


图4 叶片氮、磷、钾含量与玉米产量的关系散布图

从图4至少可以得出以下几点结论:植株体内养分浓度与产量高低变动范围很大,二者之间不存在线性关系;在低产水平下,植株体内养分浓度变化范围极大;随着产量水平的提高,各种营养元素的浓度变动范围越来越窄;在超高产条件下,植株体内各种营养元素的浓度局限在一个很小的范围内,即使植株体内养分达到与超高产时完全相同的浓度,并不意味着一定高产,因为产量的高低还受到养分绝对含量以外的因素的影响。

由此可见,植物分析与土壤测试一样,作为推

荐施肥的依据是不可取的。

3. 作物栽培科学危机的根源

(1) 研究对象的不可知论阻碍了栽培科学的发展

栽培科学研究成果为什么覆盖面不大? 高产纪录为什么难以重复? 高产经验为什么不能移植? 人们往往理直气壮地用农业科学是生物科学、生命科学, 农业生产具有地区性和季节性来加以解释。这严重地阻碍了栽培科学的发展和进步。

生物科学是不是一定受地区性和季节性的严格限制? 同属于生物科学的医学所取得的辉煌成就给出了否定的回答。虽然作物栽培所面对的是植物, 而医学所面对的是人, 二者有天壤之别, 但是二者同属生物科学, 生命科学, 研究对象在整个生命过程中都始终与环境保持密切联系, 而且生长发育都具有连续性、不可逆性和难控制性。相比之下, 植物的生命活动和生命过程比人要简单得多。人具有思想、意识和感情, 其生理、心理上的难控制性比植物的难度要大得多。但是, 医学可以做到的, 作物栽培学却做不到。比如, 医生可以超越地域、国度、人种、性别、年龄以及饮食结构的不同, 迅速而准确地对人体的病情作出诊断, 并提出治疗方案, 而作物栽培学却严格地受到时间和

空间的限制。地域或天气的变化, 甚至品种的不同, 都可以使“高产栽培技术”成果变成低产。可见, 作物栽培科学落后并不是研究对象不可知, 也不是因为环境因素太复杂, 而是由于栽培学家思维方式所致。

(2) 作物栽培科学没有形成本学科的方法论

作物生产系统是由“天—地—人—作物”构成的多层次的复杂系统。其内既有生物因素, 又有非生物因素; 既有确定因子, 又有很多难以控制的随机因子; 系统内的各种关系多呈强非线性关系。作物生产过程牵涉到许多生物学过程, 其内部结构、机理难以揭示清楚。对于如此复杂的问题, 作物栽培学尚未形成一整套研究方法和完整的软、硬件配套技术。大量进行的是简单对比试验和单项研究, 或把多学科研究成果简单叠加, 停留于现象的描述, 无法成为一门精确的科学。

二、未来栽培学的特点和栽培科学现代化

从作物高产栽培技术体系发展趋势来看, 未来栽培学的主要内容, 近期是以作物对环境条件所作出的内在反应为依据的栽培技术体系, 将来则是以作物生理代谢指标为依据的栽培技术体系(图5)。

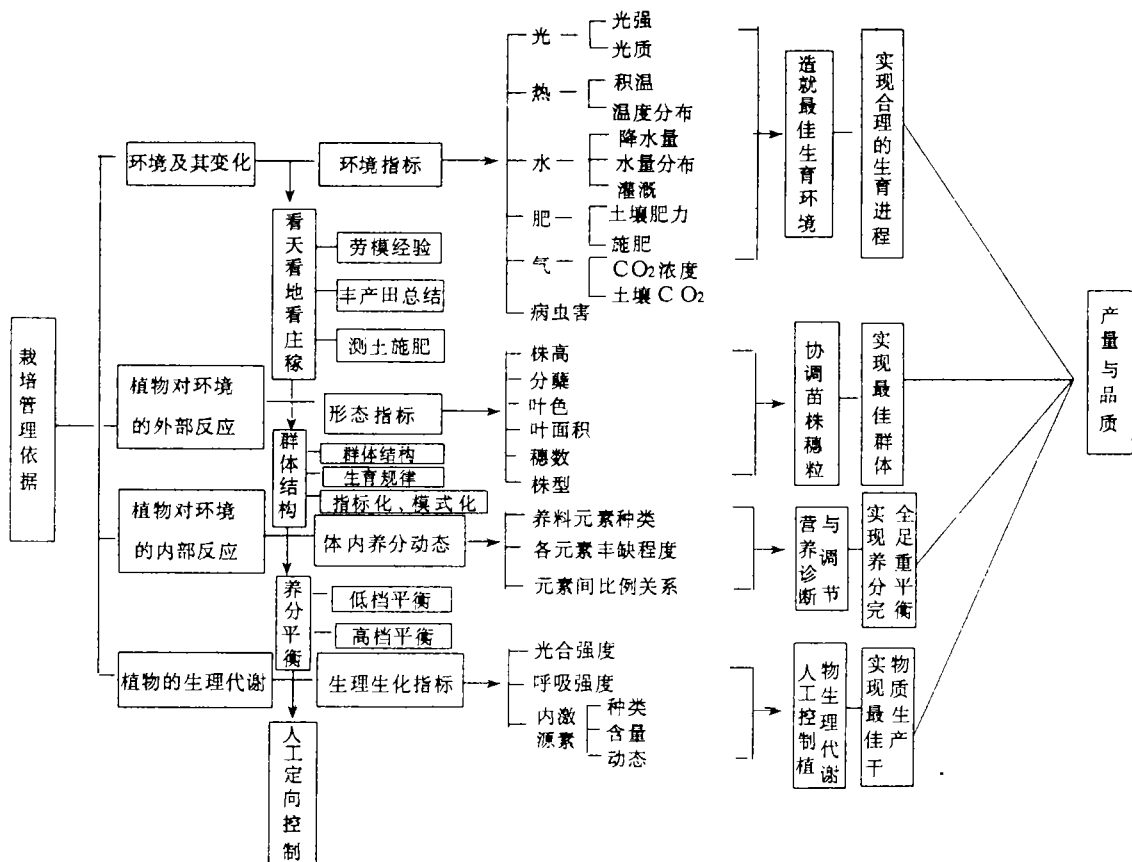


图5 作物栽培技术体系及其发展趋势示意图

1. 未来栽培学的目标

(1) 充分发挥现有良种的遗传潜力,大幅度提高单位面积产量;

(2) 最大限度地克服天气和地域变化的影响,定向控制植物生理代谢过程,实现稳定增产和高产、优质、抗病、抗倒四大目标的有机统一;

(3) 彻底克服盲目性,实现栽培管理程序化、自动化和数量化,提供人人都可以掌握利用的作物增产高新技术;

借鉴医学的思维方式和方论来改造和提高作物栽培科学的水平,未来栽培学研究的重点和管理的依据是作物本身。因此,未来栽培学是综合运用现代科技最新成就对作物生育状况进行快速、精确的诊断,并按预定指标定向控制作物生育的一门高新技术。

2. 栽培科学现代化要解决的理论技术问题

(1) 必须以系统工程的原理和方法为指导

作物生产系统是由生物与生物、生物与环境在物质循环和能量变换过程中所建立起来的互相依存、互相制约的一个多层次、多序列、多结构,具有生产功能的有机整体。田间生长的作物是一个十分复杂的物理学—化学—生物学动力系统。在该系统内变量极多,众多变量中又有可控的和不可控的。每个变量本身的变异有的是连续的,有的是不连续的,不同变量之间的因果关系也是若明若暗的。具体地讲,作物生产与天时、地利、人和有关。但最优的天时、恰当地利、合适的人和并不一定是清晰的、唯一的和单目标的,而往往是灰色的。要弄清作物生育规律和产量形成的机理就离不开大气、土壤、田间生长的其它有关生物学实体(杂草、病虫害等)以及人类所进行的耕作管理。因此,土壤—大气—农作物—管理就构成一个复杂的灰色系统。要实现作物栽培科学现代化,必须以系统工程的原理和方法为指导,重新认识作物生产系统的本质特征,探讨高产栽培研究方法论,实现研究手段现代化,否则作物栽培科学的总体水平将不会有重大突破。

(2) 用正确的方法处置不同性质的问题

按处置方法的不同,现代科学问题包括:正问题,即首先建立完整的数学模型,然后输入参数得出相应的输出。信息、机理已弄清楚的问题,可采用此种方法。反问题,在未弄清作用机理的情况下,先通过输入和输出的统计数据确定模型和参数,然后就已知的输出反推与之相应的、必须的输入。农业生产问题,作物栽培问题就属反问题。遗憾的是,长期以来农学家却习惯于按照正问题的方式处置,因此对高产栽培中的同一个问题、同一国家、同一国家的不同地区,不同的研究者会得出互相矛盾的结果,其根源就是未弄清问题的属性。

优化原则揭示了系统的目的、结构和环境之间相互影响、相互制约的辩证关系。在高产栽培中,达到高产的投入最少,效益最高,且最容易的方案只有一个。采用哪些因素的组合才能达到这一目的,就是优化问题。

三、从养分平衡探索高产之路

1. 几件发人深省的事

(1) 亚运村月季花为什么落叶和枯萎?

1991年春亚运村引进了几个月季新品种,并进口了极为先进的人工气候室,但事与愿违,优良的品种和先进的设备并没有开出鲜艳的花朵,月季叶片由绿变黄,然后一片片落光,最后整个砧木枯萎。经北京市农林科学院植物营养与计算机应用研究室采样分析、诊断,结果是施磷过量而引起铁、锰、铜元素极度亏缺所致。如果采用常规植物分析并用临界值理论来解释分析结果,这些元素都在临界养分含量以上,则不应出现缺素症,更不会引起落叶和死亡。针对磷素浓度过高,元素间比例失调而引起的生理病害,通过采用氨基酸矿质营养液来调整亏缺元素与磷素的比例关系,使全部月季不仅迅速恢复了生机,而且花红叶绿,一批批优质花源源不断地供应市场。

(2) 京郊旱种水稻为什么发生黄叶和缩苗?

北京郊区有一块稻田被分成两部分,分别由两户农民种植。一户农民为了夺取高产,大量增加投入,仅磷酸二铵用量就达每亩20公斤;另一户农民无心务农,致力经商,投入少,管理差。当稻苗长到5~6个叶片时,怪事出现了。后者稻苗绿油油,生机盎然;而前者稻苗缺铁失绿。经土壤测试和植物分析,两家土壤和稻苗含铁浓度并无差异。后经全面测试分析,比较各元素之间的比例关系发现,稻苗发黄失绿与植株内铁的绝对含量并无关系,而当磷铁比值大于60时,就会出现缺铁症。

还有许多事实都无例外地证明,促进和保持植物体内各必需元素之间的平衡关系,是保证正常生育并夺得优质高产的关键。

2. 关于作物养分平衡诊断与调节系统的研究

作物养分平衡诊断与调节系统采用系统工程的原理和方法,在研制高产、超高产水稻、小麦、玉米和高产高糖甜菜植株养分数据库、养分动态模型和营养诊断与调节系统软件的基础上,以植株养分测试为依据,对大田生长中的作物养分状况作出诊断,并由电子计算机自动开出针对性很强的、既定性又定量的施肥方案,再反馈到田间,使作物体内各种营养元素达到品种齐全,数量足够,彼此保持平衡,从而实现高产、优质、抗病、抗倒四

大目标的有机统一,并取得大幅度增产。这项成果还包括7~11种矿质元素的养分数据库和养分数据自动处理系统软件包。

该系统采用原子吸收分光光度计和流动注射仪等先进设备进行养分分析,利用电子计算机进行管理。该系统运算速度快,用户界面灵活,凡具有高中文化程度者都可在菜单引导下准确操作。由于测试手段和管理系统都十分先进,诊断结果在采样后3~5天即可反馈到田间,保证了诊断和调节活动走在生产前面。

作物养分数据库将不同天气、不同土壤和不同管理条件下的不同品种的资料经过数学处理,按产量水平分档。从玉米吐丝期叶片中氮、磷、钾三要素的含量、相互比例以及养分指数的变动范围与产量之间的关系,即可看出,不同产量档次的养分状况是大不相同的(见表1)。基于各影响因素是通过影响作物体内养分状况和生理代谢作用来影响作物生育和产量高低的,而一般天气因素的影响已经包含在养分数据之中,所以通过调节各种养料元素,并将其限制在允许范围内,就可取得稳定的高产效果。

这一高新技术适用于各种产量水平的田块。既可对中低产田进行障碍性诊断,迅速找出丰产主要障碍因子,又可对高产田进行预防性诊断,准确无误地查出凭经验无法搞清的潜在限制因子,为进一步大幅度增产提供了可能。这项技术成果最大限度地解决了天气和地域变化对作物生育的影响这一难题,从根本上克服了施肥上的盲目性,

表1 全世界8000份玉米资料统计N.P.K含量、
比例和养分指数与产量的关系

产量 项目	333 公斤/亩	667 公斤/亩	833 公斤/亩	1000 公斤/亩
N (%)	0.75~5.80	1.20~5.01	2.10~4.61	2.69~3.97
P (%)	0.10~1.10	0.14~0.78	0.22~0.57	0.26~0.44
K (%)	0.20~4.00	0.67~11.78	1.22~4.42	1.66~3.12
P/N	0.03~0.64	0.041~0.275	0.062~0.208	0.076~0.164
N/K	0.30~12.20	0.425~4.185	0.771~2.404	1.053~1.873
K/P	0.20~40	1.84~23.45	3.41~16.07	4.69~11.80
N养分指数	-85~+75	-28~+33	-17~+19	-10~+8
P养分指数	-100~+140	-43~+45	-28~+24	-17~+10
K养分指数	-150~+80	-47~+75	-26~+30	-10~+14

为农业生产上新台阶提供了可靠手段。

这项技术1988年以来已在全国10余个省市大面积推广应用,取得了显著的增产效果 and 经济效益,创造了一大批高产、超高产纪录。

3. 养分平衡高新技术依据的原理

(1) “土壤—作物”是一个复杂的系统,在该系统内,作物所需的各种营养元素不是孤立存在

的,它们之间存在着十分复杂的相互作用。每一种元素的有效性都受到环境因素和其它元素的影响,而该元素的存在又要影响其它元素的有效性。

(2) 作物体内不同养料元素之间的比例关系与产量高低有统计上的相关性。而且这种相关程度比元素绝对含量与产量之间的关系更密切、更重要。判断养分丰缺程度应采用相对丰缺指标。

(3) 作物必需的养料元素有16种。尽管对每种元素的需要量有很大差异,但就生理功能而言,各种元素都是同等重要的和不可相互代替的。因此,只有当每一种元素的浓度都达到足量水平时,作物才能正常生育并取得高产。否则就会成为高产的主要限制因子。

(4) 作物高产栽培的机理至今还是一个打不开的“黑匣子”,因此,高产栽培研究应采用反问题的方法。

4. 养分平衡高新技术的关键技术及创造点

(1) 系统化、定量化的诊断指标的确定。该指标(养分指数)不仅把所有可能影响产量的各因素的单独效应定性和定量地加以分析,而且把作物与这些因子的关系及其与产量的关系加以综合考虑,并把从施肥到形成产量的各个中间过程用数学方法作出数量化的表示,因而可以真实、全面地反映作物当时的营养状况。

(2) 高产作物养分动态模型的建立。该模型包括植株养分数据库和养分数据自动处理软件,具有7项系统功能:高产作物养分标准值数据库、各养料元素比值及其变异系数数据库、实验数据屏幕编辑、样本养分指数算法程序、养分调节方案计算程序、抽样多元统计分析算法程序、报表输出。

(3) 原子吸收分光光度计和流动注射仪植物分析技术以及电子计算机管理系统的应用,保证了该项成果具有实用性。

(4) 氨基酸螯合肥料的生产与应用,克服了无机盐离子之间拮抗作用而产生的吸收障碍,以及降低肥效的缺点。用肥少、见效快、经济效益高。

5. 成果的意义

(1) 使现有品种增产潜力提高30%以上。

(2) 通过安全增加氮素吸收量和持有量,促进和保持作物体内养分平衡,使高产、优质、抗病、抗倒四大目标达到有机统一。

(3) 最大限度地克服天气和地域变化的影响,使作物实现稳定增产。

(4) 提供人人可以掌握利用的作物增产高新技术。

(5) 为作物栽培研究和作物栽培科学现代化开辟新途径。

(责任编辑 蔡 今)