

# 现代杂交玉米品种的养分吸收模式

Ross R. Bender Jason W. Haegele Matias L. Ruffo Fred E. Below 著

谢玲 译 涂仕华 校

(国际植物营养研究所成都代表处, 四川成都;

原文译自《Better Crops》2013 第一期 P7-P10)

虽然生物、育种和农艺技术的进步已把玉米产量推向了一个个新高, 但缺少让这些现代杂交玉米品种获得最高产量潜力的施肥指导。目前的施肥措施是几十年前制定的, 也许与现代杂交玉米的养分吸收能力完全不符, 因为这些品种含抗虫基因, 且种植密度比以前更大。当我们致力于实现玉米最高产量潜力的时候, 重新评估玉米对养分的吸收和在体内的分配可为完善施肥措施奠定基础。

正如 Bruulsema 等人 (2012) 总结的那样, 养分最佳管理包括在正确时间把正确肥料品种和正确用量施用到正确位置—4 个“正确”(4R) 方法。尽管以前对玉米杂交种的施肥和管理措施基本正确, 但主要是针对大量营养元素吸收、分配以及施用时间方面的相关研究 (Sayre, 1948; Hanway, 1962; Karlen et al., 1988), 不能代表高产环境下现代杂交玉米的养分需求特征。这篇文章的目的就是研究现代转基因抗虫杂交玉米在高产条件下如何吸收和利用养分的。

在玉米生育期中, 选择了 6 个生育阶段测定玉米植株中 N、P、K、S、Zn 和 B 的含量: V6(营养生长期叶龄 6), V10, V14, R2(籽粒形成期/灌浆期), R4(籽粒腊熟期) 以及 R6(生理成熟期)(Hanway, 1963)。田间试验安排在美国北伊利诺斯州的 Dekalb 农业研究中心和伊利诺斯州的厄巴纳作物科学研究与教育中心。试验使用了 6 个含抗性基因的杂交种, 在 111~114 天期间(相对成熟)喂食西部玉米食虫 (*Diabrotica virgifera virgifera*), 欧洲玉米钻心虫 (*Ostrinia nubilalis*) 以及鳞翅目类的害虫。所有条件下的玉米播种密度均为 34,000 株/英亩。选取、分析并测定了代表性植株的 1) 茎秆和叶鞘, 2) 叶片, 3) 穗、玉米芯和苞叶和 4) 玉米籽粒, 分别代表玉米的茎、叶、生殖和籽粒组织。播种时的农艺管理包括了使用土壤杀虫剂, 撒播 150 磅  $P_2O_5$ /英亩的 MicroEssentials SZ™ 和 180 磅 N/英亩的尿素。在 V6 时侧施了 60 磅 N/英亩的增效尿素(尿酶与硝化抑制剂), 并在 VT/R1(抽雄/吐丝)期施用了杀菌剂。

## 养分吸收及带走

2010 年, 这些转基因抗虫玉米杂交种在两个试验点



籽粒饱满的玉米穗—土壤养分供应与作物需求完全吻合的标志

常见缩写与注释:

N = 氮; P = 磷; K = 钾; S = 硫; Zn = 锌; B = 硼;

HI = 收获指数; R1 = 吐丝 (玉米须吐出苞叶外); R2 = 籽粒形成期 (籽粒变白, 类似鼓起的籽粒); R4 = 籽粒腊熟 (籽粒中奶状浆液增稠); R5 = 形成凹痕 (几乎所有籽粒形成凹痕); R6 = 生理成熟期 (形成黑色脱落层); V6 = 6 片叶, 叶枕可见; V10 = 10 片叶, 叶枕可见; V14 = 14 片叶, 叶枕可见; VT = 最后一个雄穗分支完全可见。

的平均产量为 230 蒲式耳/英亩 (变幅为 190-255 蒲式耳/英亩), 我们对玉米养分需求的讨论都是以该产量水平为基础。

在制定推荐施肥方案时, 有两个主要的植物营养问题非常重要, 有助于我们对玉米高生产的管理。它们是 1) 在整个生长季节需要获得的某种矿质养分量, 称为“养分吸收总量”, 或生产所需养分量; 2) 籽粒所含养分量, 称为“籽粒带走量”(表 1)。籽粒的养分含量单位为磅/蒲式耳(表 1), 这与近来化肥行业用来确定肥料施

用量 (Bruulsema et al., 2012) 的单位是一致的。但是, 在过去的 50 年中, 作物生产中的 N、P 和 K 用量和玉米籽粒带走量比 20 世纪 60 年代的各种管理系统翻了一番 (Hanway, 1962)。

我们计算出每种养分的收获指数 (HI), 它量化了籽粒养分含量占植株吸收总量的百分比。生产中需求量大的养分 (N、P 和 K) 或收获指数高的养分 (P、Zn、S 和 N) 都说明它们是玉米高产的关键养分 (表 1)。就养分吸收总量来说, 举个例子, 近 80% 的 P 被玉米籽粒带走, 而 K 和 B 在秸秆中的含量较高。对每种养分来说, 没有进入籽粒的养分则留在叶、秆和生殖组织, 构成地上部分, 最终

被还到田间。全部或部分利用玉米秸秆 (如纤维素乙醇、玉米青贮饲料) 的生产实践会多带走 20.8 磅 N、4.0 磅  $P_2O_5$ 、23.3 磅  $K_2O$ 、1.9 磅 S、0.5 盎司 Zn 和 0.2 盎司 B/t 干物质。

## 最大吸收量

进一步提高肥力的措施需要当季作物养分吸收与养分供应一致, 即把正确的肥料品种和正确用量在正确的时间施用。在营养生长期, 所有观察的养分 (表 1) 最大吸收量要与干物质最大积累时期一致 (表 2-7)。在 V10 和 V14 期之间, 超过 1/3 的 B 已被吸收, 而其它养分的吸收仅占

表 1 在 Urbana, IL 和 DeKalb, IL (2010) 大量元素和微量元素吸收及带走总量				
养 分	养分 吸收总量	籽粒吸收 养分量	收获指数 (%)	养分移除指数 (磅 / 蒲耳式)
N	256	148	58	0.64
$P_2O_5$	101	80	79	0.35
$K_2O$	180	59	33	0.26
S	23	13	57	0.06
Zn(盎司) <sup>+</sup>	7.1	4.4	62	0.019
B(盎司)	1.2	0.3	23	0.001

<sup>+</sup>Zn 和 B 均以单位盎司计量 (如盎司 / 英亩和盎司 / 蒲耳式)

表中每个数值是两个试验地中六个杂交品种的均值 (下图 1-7 中数值同), 产量平均值=230 蒲耳式 / 英亩。收获指数以百分数表示, 其为籽粒养分吸收量与养分吸收总量之间的比值。养分移除指数乘以产量可以计算出作物养分移除数量。

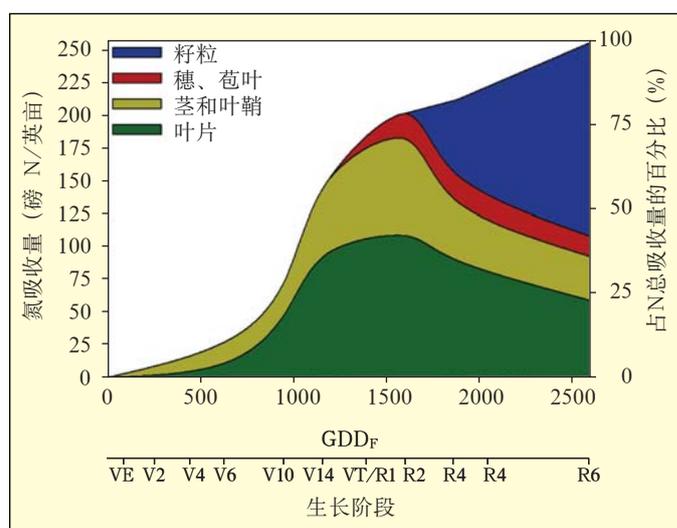


图 1. 玉米干物质总量以及 4 个秸秆部分所占比例: 叶、秆、生殖组织和籽粒。GGD<sub>F</sub>= 有效积温 (华氏度, 下同)

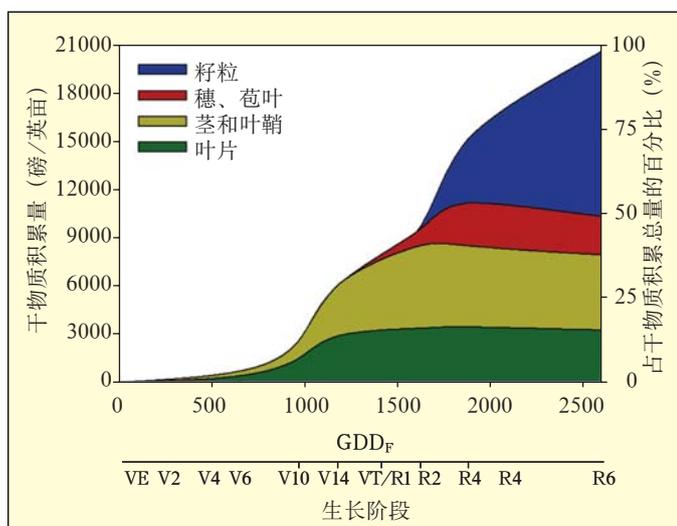


图 2. 玉米 N 吸收总量以及 4 个秸秆部分所占比例: 叶、秆、生殖组织和籽粒。

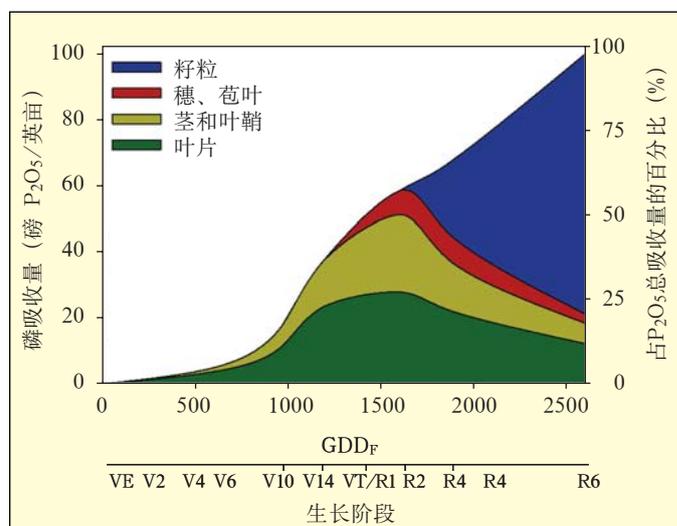


图 3. 玉米 P 吸收总量以及 4 个秸秆部分所占比例: 叶、秆、生殖组织和籽粒。

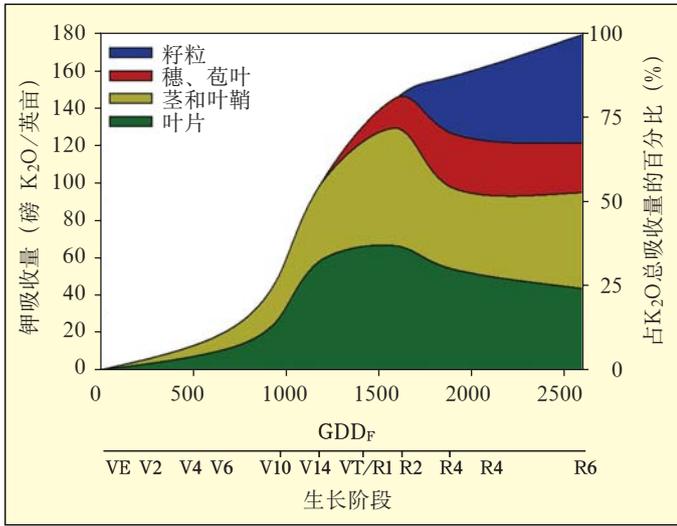


图 4. 玉米 K 吸收总量以及 4 个秸秆部分所占比例：叶、秆、生殖组织和籽粒。

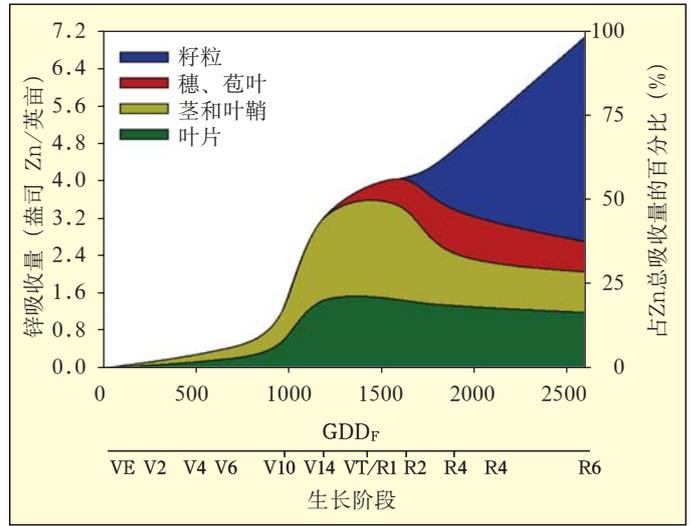


图 5. 玉米 S 吸收总量以及 4 个秸秆部分所占比例：叶、秆、生殖组织和籽粒。

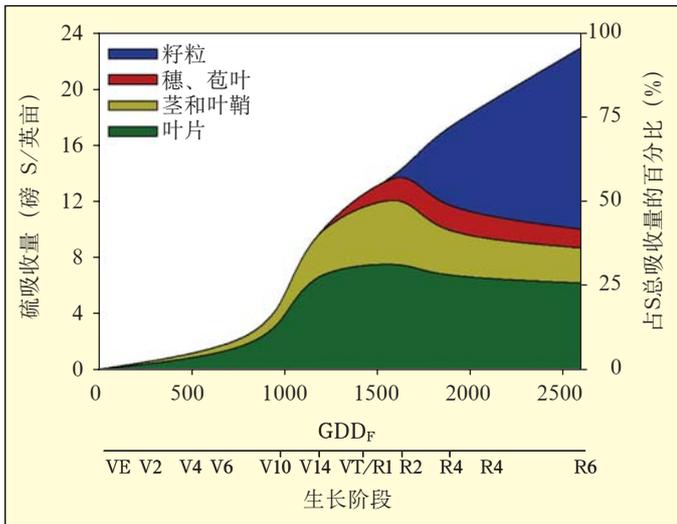


图 6. 玉米 Zn 吸收总量以及 4 个秸秆部分所占比例：叶、秆、生殖组织和籽粒。

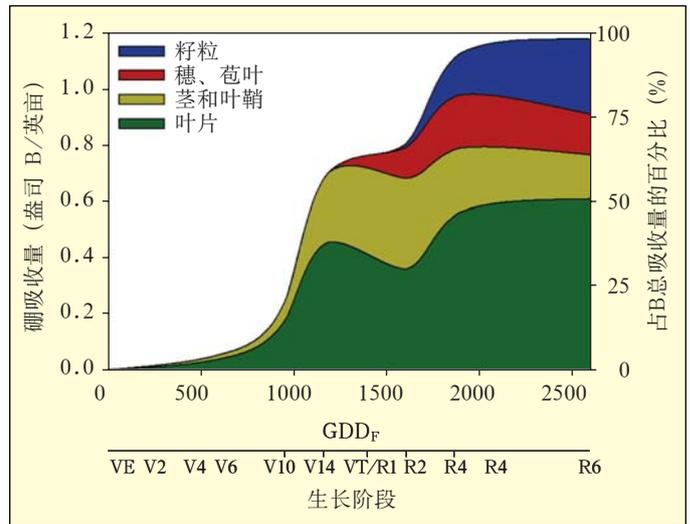


图 7. 玉米 B 吸收总量以及 4 个秸秆部分所占比例：叶、秆、生殖组织和籽粒。

20–30%；玉米生长每天所需吸收的养分为 7.8 磅 N、2.1 磅  $P_2O_5$ 、5.4 磅  $K_2O$ 、0.56 磅 S、0.21 盎司 Zn 和 0.05 盎司 B。在正确的时间使用正确肥料品种和用量，满足玉米对养分的需求，是提高养分利用率和产量的关键。

## 养分吸收时间

有效减少养分胁迫需要养分供应与作物需求一致，尤其是在高产条件下。举例来说，在提高养分利用率和吸收率的总目标下，S 和 N 易遭受同样的环境胁迫。然而，玉米对 N 的吸收时间（图 2）与 S（图 5）是惊人的不同，表明采用的措施可能对一种养分吸收有效，而对另一种养分的吸收则没有效。N 的吸收与 S 不同，为传统的 S 型吸收模式，有 2/3 的养分是在 VT/R1 期间吸收的。相反，S 在

灌浆期积累较高，超过一半的 S 是在 VT/R1 期以后吸收的（图 5）。与 N 一样，玉米在 VT/R1 期间累积了 2/3 的 K（图 4）。有趣的是，超过一半的 P 也是在 VT/R1 期以后吸收（图 3）。这些图表明，玉米的 P 和 S 营养在整个生育期都很重要，而对 N 和 K 的吸收主要在营养生长期。

玉米对 N、P、K、S 养分的吸收规律为 S 型或相对恒定，而对微量元素的吸收模式则更为复杂。举例来说，玉米在营养生长前期对 Zn 和 B 的吸收呈 S 型，在 VT/R1 期达到峰值（图 6 和图 7）。随后对 Zn 的吸收率保持恒定，与 P 和 S 的吸收相似；而对 B 的吸收则进入了第二个主要 S 型阶段，最后在 R5（凹痕）结束。与大量元素相比，Zn 和 B 更倾向于在短期内集中吸收。在只有 1/3 的生长季节，即营养生长后期和生殖生长期，玉米对 Zn 的吸收

量达到 71%(图 6)。玉米对对 B 的吸收具有类似趋势,即在 1/5 的生育期内吸收了高达 65% 的 B(图 7)。在高产条件下,要满足玉米对微量元素的需求,必须在关键生育期给玉米提供正确的肥料品种和用量。

## 植物养分移动性

与植物干物质不同,特定养分具有移动特性,这允许它们在一个组织中被利用后,还可以被转移(再活化)到别的组织中(Sayre,1948; Hanway,1962; Karlen et al., 1988)。很多养分包括 N、P、S 和 Zn,玉米吸收的绝大部分在成熟时都被贮存在籽粒中(表 1)。在灌浆期(VT/R1 以后),收获指数高的养分的累积是同化作用和从植株其它部位再活化的结果。以 P 为例,大于一半以上的吸收量是在 VT/R1 期以后累积的,有很大一部分是再活化而来的,源自于最初贮存在叶片和茎秆中的 P(图 3)。尽管 N 和 S 的累积机制不同,但二者具有类似的收获指数。开花后,玉米籽粒中的 S 主要来自于从土壤的吸收(图 5),而 N 则主要是来自再活化的结果(图 2)。植株体内的 Zn 表现出独特的移动特性,茎秆作为主要但仅为短暂的籽粒 Zn 源。到了 R6 期,茎秆中近 60% 的 Zn 被再活化转移,进入籽粒。与 Karlen et al(1988)的报道相似,叶片中的 B 在 VT/R1 期前后开始下降,表明它在生殖生长中的作用(图 7)。

## 优化养分管理

尽管养分管理是一个复杂的过程,深入了解玉米对养分的吸收时间、吸收量、在体内的分配和再活化规律,有助于优化肥料用量,品种和施肥时间。与其它养分不同,P、S 和 Zn 的积累量在灌浆期比营养生长期更大。因此,在整个生育期中保证这些养分的供应对玉米平衡营养至关重要。微量营养元素比大量营养元素养分的吸收时间更短,特别是 Zn 和 B。就吸收总量的百分比来说,带走的 P 大于其它养分。在伊利诺伊州的玉米-大豆轮作中,最常见的就是在玉米种植年对两茬作物都施肥。但农民却在玉米

季施用平均 93 磅  $P_2O_5$ (肥料和化学利用,2011),而 80% 大豆田不施 P 肥,仅有 13 磅  $P_2O_5$  残留(肥料,化学利用,生物技术种类,2010)。这些数据表明,随着生产力提高而施肥量没有得到相应充分调整的话,就会出现土壤肥力下降的危机。这些植物养分知识,对我们深刻理解当今养分管理所面临的挑战至关重要。

## 总结

在过去 50 年中,随着农艺、育种和生物技术的进步,作物产量达到了历史最高纪录。但是产量的提高伴随着土壤大量和微量营养元素水平的显著下降。由 IPNI 总结的最新北美土壤测试水平表明,最近五年来美国和加拿大土壤 P、K、S 和 Zn 含量下降到或低于临界值水平的土壤样品百分数正在增加(Fixen et al.,2010)。土壤肥力不断下降加上高产杂交品种,表明种植者目前采用的准确维持施肥量没有充分平衡养分的吸收与带走。集成关键作物(包括玉米)的新技术和升级技术使我们能更好地实现养分管理的基本目标:把正确的肥料品种和正确用量在正确时间施用到正确位置,以满足作物的营养需求。

## 感谢

作者感谢 Mosaic 公司对该研究的资助。本文是《农学报》2013 年 1 月/2 期一篇研究论文的摘要。

Ross Bender 先生是伊利诺伊州大学的研究生(研究助理), E-mail:bender14@illinois.edu。Haegele 博士是伊利诺伊州大学的博士后, E-mail:Haegelel@illinois.edu。Ruffo 博士是 Mosaic 公司驻阿根廷布宜诺斯艾利斯市的全球农学经理, E-mail:matias.ruffo@mosaicco.com。Below 博士是伊利诺伊州大学作物科学系的教授, E-mail:fblow@illinois.edu。

## 参考(略)