

# 不同氮肥管理对春玉米干物质生产、分配及转运的影响

戴明宏,陶洪斌,王利纳,王 璞

(中国农业大学 农学与生物技术学院 农业部作物栽培与耕作学重点开放实验室,北京 100094)

**摘要:**为探索华北地区春玉米高产可持续栽培技术,研究了不同氮素管理(不施氮、推荐施氮、经验施氮)对春玉米的干物质积累、分配及转运的影响。结果表明,在高肥力土壤条件下,第一年推荐和经验施氮同不施氮相比在干物质积累、叶面积指数、籽粒产量、穗位叶光合速率等方面都没有起到明显的促进作用,但在第二年不施氮处理产量比推荐施氮和经验施氮分别下降了 12.0%和 11.6%。推荐施氮的优势不仅体现在减少氮肥投入的前提下保持产量的稳定,同时也明显促进了生育后期植株营养体干物质向籽粒的转运,各器官干物质转运总量占籽粒总干质量的 22.1%,比经验施氮高 6.1%。

**关键词:**春玉米;干物质分配;干物质转运

中图分类号:S513.04 文献标识码:A 文章编号:1000-7091(2008)01-0154-04

## Effects of Different Nitrogen Managements on Dry Matter Accumulation, Partition and Transportation of Spring Maize( *Zea mays* L.)

DAI Ming-hong, TAO Hong-bin, WANG Li-na, WANG Pu

(College of Agronomy and Biotechnology, China Agricultural University,

Key Laboratory of Crop Cultivation and Farming System, Ministry of Agriculture, Beijing 100094, China)

**Abstract:** The objective of this study is to provide a technique for high-yielding spring maize cultivation by analyzing effects of different nitrogen managements on dry matter accumulation, partition and transportation. There are three nitrogen managements: Zero nitrogen fertilization (ZNF), Recommended nitrogen fertilization (RNF), Traditional nitrogen fertilization (TNF). The results showed that neither RNF nor TNF could obviously improve dry matter accumulation, LAI, ear-leave photosynthetic rate and grain yield in the first year. However, in the second year, ZNF achieved yield reduction of 12.0% and 11.6% comparing with RNF and TNF respectively. Furthermore, RNF could not only reduce nitrogen input, but also improve dry matter transportation from other organs to grain, the proportion of which reached 22.1%, and was 6.1% higher than TNF.

**Key words:** Spring maize; Dry matter partition; Dry matter transportation

华北平原作为典型的冬小麦-夏玉米一年两熟轮作区,春玉米仅有小面积的种植(主要分布于华北北部、旱地及山区)。然而,随着水资源的日益短缺和农业用水量的不断提高,华北平原的地下水被大量、过度开采,直接造成了地下水位逐年下降,形成大面积区域地下水漏斗<sup>[1]</sup>。因此,在华北平原缺水地区以节水作物(例如春玉米)适当地替代耗水量较大的冬小麦-夏玉米轮作体系成为减少华北平原农业用水总量的方法之一。干物质积累是籽粒产量形成的物质基础,获得高产的基本途径就是尽量增加

干物质产量,并使之尽可能多地分配到籽粒当中<sup>[2]</sup>。20世纪50年代至90年代,美国的研究和实践证明,玉米产量的提高总伴随着干物质积累量的不断增加<sup>[3]</sup>。所以,明确干物质积累与分配规律对于探寻春玉米高产途径至关重要。干物质积累与分配会受到多种因素的影响。大量研究表明,不同的品种、种植密度、氮肥用量、施肥时期、施肥管理方式、耕作方式等都会对玉米干物质积累与分配构成显著影响<sup>[4-10]</sup>。本研究主要从不同的氮肥管理方式出发,并从不同土壤供氮水平对华北平原春玉米的干物质

收稿日期:2007-11-18

基金项目:国家自然科学基金项目(30571089)

作者简介:戴明宏(1981-),男,安徽长丰人,博士研究生,主要从事作物高产栽培与资源高效利用研究。

通讯作者:王璞(1957-),男,山西朔州人,教授,博士生导师,主要从事作物高产栽培与资源高效利用研究。

积累和分配规律做了系统地描述和分析,旨在为春玉米的氮肥高效生产提供理论依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验地基本情况及试验设计

试验于 2005 - 2006 年在中国农业大学东北旺试验站进行。试验地海拔高 60 m,位于北京的西北部(北纬 39.56°,东经 116.2°);属于温带大陆性季风气候,年平均降雨量 554 mm,年平均气温 11.5 °C;试验地土壤为石灰性潮土,0~40 cm 土层有机质含量、全氮、碱解氮、速效磷(Olsen - P)和速效钾(NH<sub>4</sub>OAC 浸提)分别为 22.3 mg/g,1.1 mg/g,86.7 mg/kg,42 mg/kg 和 168 mg/kg。根据北京市平原粮区土壤养分分级标准<sup>[11]</sup>,该土壤养分属于高肥力等级。

试验设 3 个氮肥管理处理:不施氮(ZNF, Zero nitrogen fertilization)、推荐施氮(RNF, Recommended nitrogen fertilization)、经验施氮(TNF, Traditional nitrogen fertilization),每处理 4 次重复。推荐施氮的施氮量是根据春玉米的目标产量(13.5 t/hm<sup>2</sup>)以及于各施肥时期(播种前、拔节期和大喇叭口期)测定的土壤无机氮含量的差值计算获得<sup>[12]</sup>。播种至拔节期需氮 20 kg/hm<sup>2</sup>,所考虑土层范围为 0~30 cm;拔节期至大喇叭口期需氮 70 kg/hm<sup>2</sup>,土层范围为 0~60 cm;大喇叭口期至成熟期需氮 150 kg/hm<sup>2</sup>,土层范围为 0~90 cm。分别于玉米播种前、拔节期、大喇叭口期进行田间取土,利用紫外分光光度法直接测定土壤浸提液中 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 浓度,同时用靛酚蓝吸光度法测定 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 浓度<sup>[13]</sup>。根据测定及计算结果,2005 年推荐施氮量为 140 kg/hm<sup>2</sup>(播种前 0 kg/hm<sup>2</sup>,拔节期 30 kg/hm<sup>2</sup>,大喇叭口期 110 kg/hm<sup>2</sup>),2006 年为 70 kg/hm<sup>2</sup>(于大喇叭口期施用)。经验施氮的总施氮量为 240 kg/hm<sup>2</sup>,按 1:2:3 的比例分别于播种前、拔节期和大喇叭口期施用。小区面积 75.6 m<sup>2</sup>。2005 年 5 月 11 日播种,9 月 25 日收获。种植密度 6.67 株/m<sup>2</sup>,行距 60 cm,株距 25 cm。于播种前和大喇叭口期追肥后进行灌水,灌溉量均为 100 mm。磷(普钙)、钾(硫酸钾)、锌肥均作底肥施用,用量分别为 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 150 kg/hm<sup>2</sup>, K<sub>2</sub>O 120 kg/hm<sup>2</sup>, ZnSO<sub>4</sub> 30 kg/hm<sup>2</sup>。2006 年 4 月 26 日播种,9 月 15 日收获,种植密度、株行距、灌水量及磷钾锌肥用量同 2005 年保持一致。供试品种为 CF1505,是中国农业大学许启凤教授培育的。

### 1.2 测定项目方法

1.2.1 取样方法 分别于吐丝期(DAS, Day after silking)、吐丝后 15 d(DAS15, 余类推)、灌浆中期及

生理成熟期测定植株地上部干质量,每小区随机取 4 株样品,吐丝期将样品分别测定茎、叶、苞叶(包括穗柄)和穗轴干质量;吐丝后 15 d、灌浆中期和生理成熟期分别测定茎、叶、苞叶和穗柄、籽粒、穗轴的干质量。所有样品均在 80 °C 下烘干至恒重后称量。同时,在上述生育期每小区随机取样 3 株,测量每株绿色叶片长、宽,按照长宽系数法算得叶片面积<sup>[14]</sup>,并通过计算获得叶面积指数(LAI),即单位土地面积上的叶面积。利用 LI6400 光合测定系统,分别于吐丝期及吐丝后 15, 30, 45 d 测定穗位叶光合速率。

1.2.2 计算公式 氮肥农学效率(kg/kg) = 经济产量/施氮量<sup>[15]</sup>;器官干物质转运量(g/m<sup>2</sup>) = 器官吐丝后 15 d 最大干质量 - 器官成熟期干质量;器官干物质转运量对籽粒贡献率(%) = 器官干物质转运总量/(成熟期籽粒干质量 - 吐丝后 15 d 籽粒干质量);光合生产物质量(g/m<sup>2</sup>) = 成熟期干质量 - 吐丝后 15 d 干质量。

1.2.3 数据分析 本试验数据利用 SAS9.0 软件 Student-Newman-Keuls(SNK)检验进行统计分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同氮肥管理条件下春玉米的物质生产及叶面积指数动态

2006 年春玉米各阶段的干物质积累与籽粒产量均明显低于 2005 年(表 1),这主要是由于 2006 年玉米灌浆期内持续的高温多雨寡照天气造成了玉米光合速率的下降。如图 1 所示,2005 年灌浆前期穗位叶光合速率一般为 20~25 μmol/(m<sup>2</sup>·s),2006 年同比仅为 15 μmol/(m<sup>2</sup>·s)左右。2005 年 3 个氮肥处理成熟期干物质质量、最大 LAI、籽粒产量、灌浆期穗位叶光合速率等指标差异均未达到显著性。这主要是由于本试验地土壤肥力过高,即使在不施氮的条件下土壤氮素也可确保整个生育季内植株生长不受氮素亏缺的胁迫。2006 年不施氮处理的物质生产能力出现明显的下降,其籽粒产量、成熟期的干物质积累量、最大 LAI、灌浆期穗位叶光合速率均显著低于推荐施氮和经验施氮。两年里推荐施氮和经验施氮在各项生长发育指标上的差异均不显著,但在氮肥农学效率方面推荐施氮则显著高于经验施氮。从 2005 年和 2006 年的灌浆期间穗位叶光合速率动态来看,光合速率在吐丝后 15 d 内维持在较高水平,在吐丝后 15~45 d 呈逐渐下降的趋势(图 1)。

### 2.2 吐丝期以后各器官干物质质量的动态变化

由于 2005 年 3 个氮肥管理模式的干物质积累、

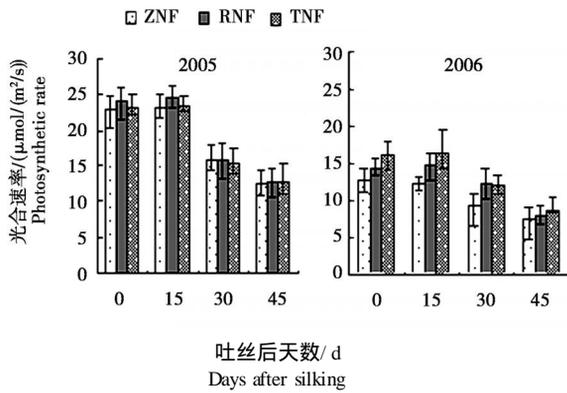


图1 春玉米灌浆阶段穗位叶光合速率

Fig.1 Photosynthetic rate of ear leaf during grain filling period of spring maize

产量等未有明显差异,而2006年不施氮管理表现出明显的供氮不足,因此着重对2006年灌浆期各器官干物质动态和分配情况进行分析。2006年不施氮处理各器官,尤其叶片、茎鞘和籽粒的干物质在吐丝期之后均始终低于推荐施氮和经验施氮,推荐施

氮和经验施氮之间的差异不明显。从DAS0至DAS66(成熟期),叶片的干物质质量均呈先增加后降低的趋势,在DAS15叶片干物质达最大值,之后转移到其他器官中。干物质在茎鞘中的动态变化没有叶片那么有规律:从DAS0至DAS15,茎鞘干物质显著增加,从DAS15至DAS66之间先减少后增加,表明生育后期的茎鞘可以作为“源”向其他器官输出干物质,也可以作为“库”接受干物质的分配,在栽培中应尽量发挥茎鞘“源”的功能。苞叶的干物质质量在DAS15达最大值,但在DAS42至DAS66之间变化不明显,说明苞叶在DAS42基本完成了干物质的输出。而穗轴在灌浆中后期干物质质量的变化并不明显。籽粒在DAS15~DAS42阶段灌浆速度最快,达到16~29 g/(m²·d);在DAS42~DAS66阶段灌浆速度明显放慢,而且不同条件下差异较大,在0.9~14.5 g/(m²·d)范围内。

表1 春玉米干物质积累量、吐丝期最大叶面积指数(LAI)和籽粒产量

Tab.1 Dry matter amount, the maximum leaf area index(LAI) and grain yield of spring maize

氮肥管理 Nitrogen management	2005			2006				
	成熟期干物质 / (g/m²) DMM	LAI <sub>Max</sub>	产量 / (t/hm²) Yield	氮肥农学效率 / (kg/kg) NAE	成熟期干物质 / (g/m²) DMM	LAI <sub>Max</sub>	产量 / (t/hm²) Yield	氮肥农学效率 / (kg/kg) NAE
ZNF	2 215 a	5.88 a	10.57 a	-	1 687 b	4.96 b	8.53 b	-
RNF	2 223 a	5.97 a	10.59 a	75.6 a	1 827 a	5.59 a	9.70 a	138.6 a
TNF	2 247 a	5.97 a	10.94 a	45.6 b	1 840 a	5.84 a	9.66 a	40.3 b

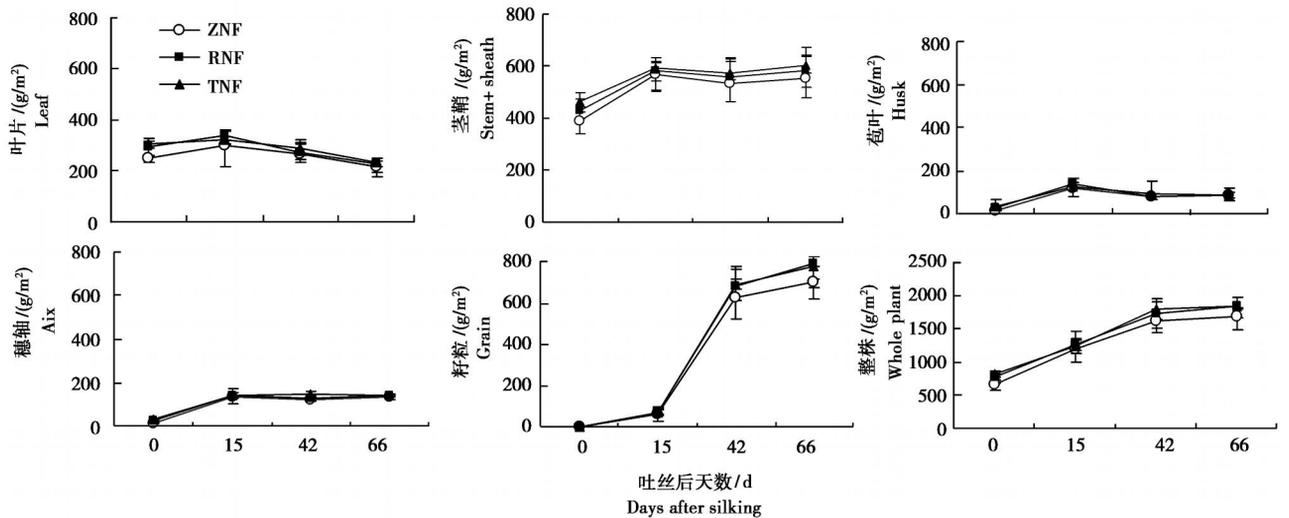


图2 2006年不同氮肥管理模式下春玉米吐丝后各器官干物质积累动态

Fig.2 Dry matter dynamics of each organ under different nitrogen managements in 2006

### 2.3 吐丝后15 d至成熟期各器官向籽粒的干物质转运

生育后期的光合生产干物质质量对籽粒的贡献率在78%~84%之间,说明籽粒产量在很大程度上决定于后期的光合生产能力。从不施氮到推荐施氮,再到经验施氮,光合生产量呈明显的递增趋势,但光

合生产上的优势并未使经验施氮的籽粒产量得以显著提高,其产量反而略低于推荐施氮。除了光合生产能力外,各器官干物质向籽粒的转运量也是不可忽视的。叶片和苞叶的干物质转运量对籽粒的贡献率较大,分别达到12.4%~15.3%和5.2%~7.0%,茎鞘和穗轴的贡献率相对较小。推荐施氮条件下,

叶片及苞叶的干物质转运量以及收获指数均显著高于不施氮和经验施氮,而总的干物质运转量占籽粒干质量的 22.1%,比经验施氮高出 6.1%,表明合理的施氮可以促进后期的干物质向籽粒的转运,从而

达到源库的平衡。经验施氮中茎鞘的干物质转运量为负值,一方面说明茎鞘在后期是作为库接纳干物质的转运,另一方面也说明籽粒库容的不足是造成经验模式源库不协调的主要原因。

表 3 2006 年春玉米吐丝后 15 d 至成熟期各器官干物质转运及其对籽粒的贡献率

Tab.3 Dry matter contribution to grain from other organs during DAS 15 to maturity  $g/m^2$

处理 Treatments	叶片 Leaf	茎鞘 Stem + sheath	苞叶 Husk	穗轴 Aix	光合生产量 Photosynthesis	籽粒 Grain	收获指数 Harvest index
ZNF	87 b	15 a	35 b	4 a	503 b	644 b	0.418 b
RNF	111 a	0 b	51 a	- 2 b	565 a	725 a	0.434 a
TNF	88 b	- 11 c	37 b	- 1 b	595 a	709 a	0.422 b

### 3 讨论

据胡昌浩<sup>[16]</sup>对夏玉米的研究,各器官干物质转移量对籽粒的贡献率依次是茎秆(6.9%)、苞叶(5.2%)、穗轴(3.4%)、叶片(1.8%)、叶鞘(1.7%)及穗柄(1.3%),总的运转量占成熟期籽粒干质量的 20.3%。品种、环境条件和栽培措施不同,各器官的转移量和对籽粒的贡献率也会相差很大<sup>[17]</sup>。本研究结果表明,不同的氮肥管理模式下,春玉米生育后期各器官中叶片和苞叶的干物质转运量最大,对籽粒的贡献率分别为 12.4%~15.3%和 5.2%~7.0%。茎秆和穗轴在生育后期更多情况下是作为“库”接纳干物质的分配。在栽培中应尽量促进叶片和苞叶中干物质向籽粒的转运。茎鞘在后期的干物质输出率可以被看做衡量“源库”是否协调的指标。

作为我国重要的粮食基地,华北平原冬小麦-夏玉米轮作体系氮肥投入量大,氮肥的利用率低,损失量也很大。推荐施氮管理是以农田养分平衡为基础的,诊断方法快速简便,适应性广;在满足作物生长需求的同时,也考虑了土壤肥力的维持和提高<sup>[18]</sup>。华北平原冬小麦、夏玉米的推荐施肥技术目前已经比较完善<sup>[15,19]</sup>,本研究首次将该技术应用于春玉米,研究结果再次证明了推荐施肥的合理性。首先,同经验施氮相比,推荐施氮的优势不仅体现在减少氮肥投入的前提下保持产量的稳定,同时也明显促进了生育后期植株营养体干物质向籽粒的转运,有益于玉米生育后期的源库协调。另外,与不施氮处理相比,推荐施氮在第一年虽未能显著提高春玉米的籽粒产量,但却有效地维持了地力的稳定,在第二年仅施用少量氮肥(70 kg/hm<sup>2</sup>)就比不施氮增产 12%。

#### 参考文献:

[1] 朱希刚. 华北平原农业水资源利用[J]. 世界农业调研, 1998(4): 9-12.

- [2] 陈国平. 玉米的干物质生产与分配[J]. 玉米科学, 1994, 2(1): 48-53.
- [3] Tollenaar M. Genetic improvement in grain yield of commercial maize hybrids grown in Ontario from 1959 to 1988 [J]. Crop Science, 1989, 29: 1365-1371.
- [4] 徐祥玉, 张敏敏, 翟丙国, 等. 不同夏玉米品种生育后期干物质及氮素积累分配的研究[J]. 西北植物学报, 2006, 26(4): 0772-0777.
- [5] 李志勇, 王璞, 魏亚萍, 等. 不同施肥条件下夏玉米的干物质积累、产量及氮肥利用效率[J]. 华北农学报, 2003, 18(4): 91-94.
- [6] 杨国航, 崔彦宏, 刘树欣. 供氮时期对玉米干物质积累、分配和转移的影响[J]. 玉米科学, 2004, 12(专刊): 104-106.
- [7] 杨国虎, 李建生, 罗湘宁, 等. 干旱条件下玉米叶面积变化及地上干物质积累与分配的研究[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2005, 33(5): 27-33.
- [8] 刘克礼, 刘景辉. 春玉米干物质积累、分配与转移规律的研究[J]. 内蒙古农牧学院学报, 1994, 15(1): 1-10.
- [9] 隋方功, 葛体达, 刘鹏起, 等. 干旱对夏玉米碳素同化、运转与分配的影响研究[J]. 中国生态农业学报, 2006, 14(3): 234-237.
- [10] 王庆祥, 顾慰连, 戴俊英. 玉米群体的自动调节与产量[J]. 作物学报, 1987, 13(4): 281-287.
- [11] 刘宝存, 孙明德, 吴静. 对京郊玉米高产潜力分析[J]. 北京农业科学, 1999, 17(6): 31-34.
- [12] 巨晓棠, 刘学军, 张福锁. 冬小麦与夏玉米轮作体系中氮肥效应及氮素平衡研究[J]. 中国农业科学, 2002, 35(11): 1361-1368.
- [13] 崔健宇, 江荣凤. 土壤农化分析实验[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2003: 14-19.
- [14] 位东斌, 东先旺. 作物栽培学[M]. 第1版. 北京: 中国农业大学出版社, 2001: 89.
- [15] 范仲学. 冬小麦-夏玉米一年两熟水氮高效利用及其机理研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2001.
- [16] 胡昌浩, 潘子龙. 夏玉米同化产物积累与养分吸收分配规律的研究 I. 干物质积累与可溶性糖和氨基酸的变化规律[J]. 中国农业科学, 1982, 15(1): 56-64.
- [17] 郭庆法, 王庆成, 汪黎明. 中国玉米栽培学[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2004: 131.
- [18] 陈新平, 李志宏, 王兴仁, 等. 土壤、植株快速测试推荐施肥技术体系的建立与应用[J]. 土壤肥料, 1999(2): 6-10.
- [19] 陈新平, 周金池, 王兴仁, 等. 应用土壤无机氮测试进行冬小麦氮肥推荐的研究[J]. 土壤肥力, 1997(5): 19-21.