

施氮时期对夏玉米生长、干物质转运与产量的影响

周琦^{1,2}, 张富仓^{1,2}, 李志军^{1,2}, 强生才^{1,2}, 田建柯^{1,2}, 李国栋^{1,2}, 范军亮^{1,2}

(1. 西北农林科技大学旱区农业水土工程教育部重点实验室, 陕西 杨凌 712100;
2. 西北农林科技大学中国旱区节水农业研究院, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 为探索不同施氮时期对陕西关中地区夏玉米生长和产量的影响, 通过桶栽施氮试验, 研究了施氮总量相同的情况下, 不同施氮时期对夏玉米的生长、产量和干物质分配转运的影响。试验设置 7 个施氮处理: N0 不施氮(对照); N1 拔节期一次性施入; N2 大喇叭口期一次性施入; N3 吐丝期一次性施入; N4 拔节期、大喇叭口期分次施入; N5 拔节期和吐丝期分次施入; N6 拔节期、大喇叭口期和吐丝期分三次施入。结果表明: N4 处理植株的产量显著高于其它处理, 相对于拔节期一次施肥的 N1 处理增加了 5.56%; N4 处理的叶面积、成熟期干物质较其它处理高, 相对于 N1 处理分别增长了 8.03% 和 8.29%; N2、N5 和 N6 处理的产量和干物质质量无显著性差异, 相对于 N1 处理产量分别增长了 4.0%、4.7% 和 4.1%, N1、N3 处理的产量和干物质质量较其它处理低, 说明分次施肥可以提高玉米的产量和干物质质量, 最佳施肥方案为拔节期、大喇叭口期分次施入; N3、N5 处理的干物质转运率相对较低, 相对于产量较高的 N4 处理转运率分别降低 5.5% 和 8.6%, 但其花后同化物累积量相对于 N4 处理分别提高 4.1% 和 7.8%, 绿叶面积相对于其它处理较高, 表明吐丝期追施氮肥可以延缓叶片衰老, 从而提高玉米的产量。

关键词: 施氮时期; 夏玉米; 生长; 产量; 干物质转运
中图分类号: S513; S143.1 **文献标志码:** A

Effects of nitrogen application at different stages on growth, yield, and dry matter transportation of summer maize

ZHOU Qi^{1,2}, ZHANG Fu-cang^{1,2}, LI Zhi-jun^{1,2}, QIANG Sheng-cai^{1,2},
TIAN Jian-ke^{1,2}, LI Guo-dong^{1,2}, FAN Jun-liang^{1,2}

(1. Key Laboratory of Agricultural Soil and Water Engineering in Arid and Semiarid Areas of Ministry of Education, Yangling, Shaanxi 712100, China;
2. Institute of Water-saving Agriculture in Arid Areas of China, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: Under the same nitrogen application amount, the effects of nitrogen application at different growth stages on growth, yield and dry matter transportation of summer maize in Guanzhong District of Shaanxi Province were explored. There were seven nitrogen treatments with the same nitrogen application amount: zero nitrogen application (N0, as control); all nitrogen application at elongation stage (N1); all nitrogen application at bell stage (N2); all nitrogen application at silking stage (N3); separate nitrogen application at elongation stage and bell stage (N4); separate nitrogen application at elongation stage and silking stage (N5); separate nitrogen application at elongation stage, bell stage and silking stage (N6). The results showed that the N4 significantly improved the yield and dry matter accumulation compared with the other treatments. Compare to N1, the yield of N4 was increased by 5.56%, the leaf area was increased by 8.03%, and the dry matter was increased by 8.29%. There were no significant difference between the yield and dry matter accumulation of N2, N5 and N6, whose average yield and dry matter accumulation increased were increased 4.0%, 4.7% and 4.1% compare to N1, respectively. The yield and dry matter accumulation of N1 and N3 were much lower than those of the other treatments, which indicate that separate nitrogen application could improve the yield and dry matter accumulation compared with all nitrogen application at a single growth stage. Nitrogen split application at elongation stage

收稿日期: 2016-08-25 修回日期: 2016-10-28
基金项目: 国家“十二五”863 计划项目课题(2011AA100504); 农业部公益性行业科研专项(201503124); 教育部高等学校创新引智计划项目(B12007)
作者简介: 周琦(1992—), 女, 山东青岛人, 硕士研究生, 主要研究方向为节水灌溉理论与技术。E-mail: nnyhappy@126.com。
通信作者: 张富仓(1962—), 男, 陕西武功人, 博士, 教授, 主要从事节水灌溉理论与技术研究。E-mail: zhangfc@nwsuaf.edu.cn。

and bell stage was considered as the optimum nitrogen application mode. The dry matter translocation efficiency of N3, N5 were lower than the other treatments, but they maintained much more green leaf area at mature stage. The dry matter translocation efficiency of N3 was 5.5% less than that of N4, while the accumulation of dry matter after silking stage was increased by 4.1% compared with N4. The dry matter translocation efficiency of N5 was 8.6% less than that of N4, while the accumulation of dry matter after silking stage was increased by 7.8% compared with N4. The results indicate that nitrogen application at silking stage can help retarded the senescence of leaves, which can raise the yield of summer maize by maintaining higher photosynthetic rates.

Keywords: nitrogen application at different stages; summer maize; growth; yield; dry matter translocation

玉米是我国第一大粮食作物^[1],玉米的持续增产是保障我国粮食安全的关键。玉米的产量和品质与氮肥有重要的相关性,合理的氮肥用量和运筹方式不仅是玉米获得优质、高产的关键,还是提高氮肥利用率、降低成本、获得较高经济效益、避免或减少由于施肥过量所带来的环境污染和危害的有效途径^[2-4]。但是近年来,在农业生产过程中,氮肥的施用往往采用一炮轰的方式,导致氮肥的过量施用,但对产量的提升作用不明显,从而降低了氮肥利用效率,引起土壤中的氮残留等污染问题^[5-7]。夏玉米生育期内高温多雨,氮肥一次施用可能因为挥发淋溶等损失导致施入的氮肥不能得到有效的利用。

前人围绕氮肥运筹对玉米生长的影响做了大量的研究,丁民伟等研究表明,在苗期施肥比在大喇叭口期施肥能获得更大的干物质积累量,大喇叭口期和吐丝期施氮肥有利于玉米生育后期干物质积累^[8]。王春虎等通过设置不同的氮肥施用方式发现,基肥:大喇叭口期施肥:吐丝期施肥为 1:6:3 时,玉米的单株叶面积和叶面积系数最大,绿叶叶片数最多^[9]。张丽丽等在施氮量为 $180 \text{ kg} \cdot \text{km}^{-2}$ 的条件下,通过研究四种氮肥运筹方式发现基肥与 12 叶期施肥比例为 1:2 时,玉米的千粒重最大,产量及氮肥利用率协同提高^[10]。王启现等通过研究前轻后重和前重后轻两种施肥方式发现玉米吐丝期施肥可以提高籽粒第二灌浆峰值,增加千粒重,利于干物质的积累和产量的提高^[11]。Foulkes 等研究表明植物产量的形成实际就是光合同化物生产与分配的过程。植物获得高产的基本途径就是尽量增加植物光合同化物的积累量,并使之尽可能多地分配转运到籽粒中^[12-14]。

目前,关于氮肥对玉米生长及养分分配规律影响的研究多集中在氮肥用量、氮肥基追比对玉米产量和氮素利用效率的影响上,对于相等施氮量下的不同氮肥后移模式对夏玉米干物质转运分配影响的研究较少。本试验采用桶栽试验的方法,通过测定玉米株高、叶面积和不同生育期干物质重等指标,研

究了不同氮肥后移模式对夏玉米产量和干物质转运的影响,为玉米的节肥减氮增产提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验在西北农林科技大学中国旱区节水农业研究院移动式防雨棚中进行。研究院地处 $34^{\circ}20' \text{N}$ 、 $108^{\circ}24' \text{E}$,海拔高度 524.7 m,属半干旱半湿润气候,多年平均气温 12.9°C ,多年平均降水量 600 mm(主要集中在 7—9 月份),年平均蒸发量 1 500 mm。供试土壤为重壤土(经自然风干、磨细过 5 mm 筛),土壤 pH 值为 7.8,有机质 $6.38 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,全氮 $0.82 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,全磷 $0.55 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,全钾 $11.2 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,碱解氮 $48.3 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,速效磷 $13.68 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,速效钾 $138.47 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,田间持水率(θ_F)24.0%。凋萎含水率为 8.5%。

1.2 试验设计

供试玉米品种为“先玉 335”。试验用氮肥为尿素(含 N 质量分数 46%),施氮量为 $1.5 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,即每桶施用尿素量为 8 g。设置 7 种氮肥处理即:N0 为不施肥,N1 为拔节期施肥,N2 为大喇叭口期施肥,N3 为吐丝期施肥,N4 为拔节期施氮 + 大喇叭口期追氮(比例为 5:5),N5 为拔节期施氮 + 吐丝期追氮(比例为 5:5),N6 为拔节期施氮 + 大喇叭口追氮 + 吐丝期追氮(比例为 3.3:3.3:3.3)。所有处理磷肥统一按重过磷酸钙 $0.4 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 施入(P_2O_5 质量分数为 16%),钾肥统一按硫酸钾 $1.5 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 施入(K_2O 质量分数为 50%);磷肥钾肥均为基施一次性施入。其它管理措施同一般高产田。每个处理种植 5 桶,共 35 桶,随机区组排列。试验 2015 年 6 月 30 日播种,10 月 15 日收获。

试验在直径 37 cm,高 50 cm 的圆柱形铝合金桶中进行。测桶均埋在地下,桶面与地表相平。试验地上方安装有可移动电动葫芦门式 500 kg 起重机(西安神力起重运输机械有限公司),起重机挂钩上安装电子吊秤(测量范围 4 ~ 500 kg,精度 25 g,杭州

天辰称重设备有限公司),可升降蒸渗桶,测其重量变化;桶底有便于水分下渗、土壤透气而设置的均匀小孔 25 个,桶底放有接取渗漏液的不锈钢铝盆。为了使通气均匀,排水时不带走桶里的土在桶底铺设一层 10 cm 厚的反滤层:最下层铺设了一层大小基本一致的鹅卵石,其上面铺设一层小石子,小石子上面铺设了一层砂子,桶内土柱厚 40 cm。玉米生长环境基本与田间一致。试验通过称重测量土壤含水率,当含水率低于 50% 时,灌水至田间持水量的百分之 90%,灌水量由电子天平精确称取。

1.3 测定项目与方法

玉米生长指标:每个不同生育期测定玉米植株的株高和叶面积。株高用卷尺测定从茎基部到叶顶端的距离,单株叶面积按 $X = \sum (L \times W) \times 0.75$ 计算,式中 X 为单株叶面积, L 为叶片长度, W 为叶片最大宽度,0.75 为单株叶面积换算系数)。分离成熟期玉米根、茎、叶和穗,放入干燥箱在 105℃ 条件下杀青 30 min,置于 75℃ 条件下烘至恒重,用电子天平称质量,即为干物质质量。

玉米产量:成熟期玉米穗装入尼龙网袋晒干后,测定每一穗的直径、穗长、秃尖长、穗行数和行粒数。脱粒后考种,测定每处理籽粒重和百粒重,以含水量为 14% 时的重量作为单株产量。

干物质转移分配的计算:干物质转移量、干物质转移效率和转移干物质对籽粒的贡献率根据以下公式计算:

干物质转移量 $DMT(g \cdot plant^{-1}) = \text{吐丝期营养器官干重} - \text{成熟期营养器官干重}$ (1)

干物质转移效率 $DMTE(\%) = \text{干物质转移量} / \text{吐丝期营养器官干重} \times 100$ (2)

转移干物质对籽粒的贡献率 $DMTP(\%) = \text{干物质转移量} / \text{粒重} \times 100$ (3)

1.4 数据处理

试验数据采用 Microsoft Excel 2007 和 SPSS 18.0 软件进行整理和分析,多重比较采用 Duncan 法,使用 Origin 9.2 软件作图。

2 结果与分析

2.1 不同施氮时期对玉米株高、叶面积的影响

株高和叶面积是反映作物生长特征的重要指标,对于判断作物前期干物质积累情况有着重要的作用。由图 1 可知,在拔节期,由于 N1、N4、N5、N6 处理施入一定量的氮肥,其株高与拔节期未施肥的处理相比具有显著的差异,相对于未施肥处理 N0 增长 4.42% ~ 6.21%,其中 N1 处理拔节期株高最

高。在大喇叭口期 N2 处理氮肥全部施入对株高的增长有显著的提升,相对未施氮肥的 N0 处理增长了 6.48%;N4 处理在拔节期和大喇叭口期分别施入,其株高相对于 N0 处理增长了 10.97%;N1 处理和 N6 处理在大喇叭口期的株高差异不显著,N5 处理由于在大喇叭口期未施肥,其株高增长量低于 N6 和 N1 处理。吐丝期各处理的差异比较明显,其中 N4 处理株高最高,相对于 N0 处理增长了 12.76%,其次是 N2 处理;可见大喇叭口期追肥对玉米株高的增长有着明显的促进作用,N2 处理的株高在吐丝期超过 N1 处理,N1 处理氮肥由于全部在拔节期施入,后期表现肥力不足,增长不显著;在吐丝期 N2 处理株高的增长量低于 N5 处理,N5 处理在吐丝期追施氮肥,株高增长速率有所增加,但是由于前期氮肥施用量过少,使其总体株高在吐丝期仍然比较低。N3 处理氮肥全部在吐丝期一次性施加,前期并未施加氮肥,对于株高的增长有一定的提升但不明显,相对于 N0 处理增长了 2.4%。成熟期株高的总体趋势和吐丝期基本一致,N3、N5 处理株高有所增长,N3 相对于 N0 处理增长了 3.77%,N2、N5、N6 处理无显著差异,N4 最高,相对于 N0 处理增长了 14.49%。由上可知,虽然吐丝期 N3 处理追施氮肥,但是由于前期未施肥,后期即使施肥也没有显著的增长。综合整个生育期,玉米的株高呈增长趋势,后期增长速率较前期有所降低,增长速率最快的时期是拔节期,其次是大喇叭口期。吐丝期和成熟期增长速率缓慢,两个时期基本持平。

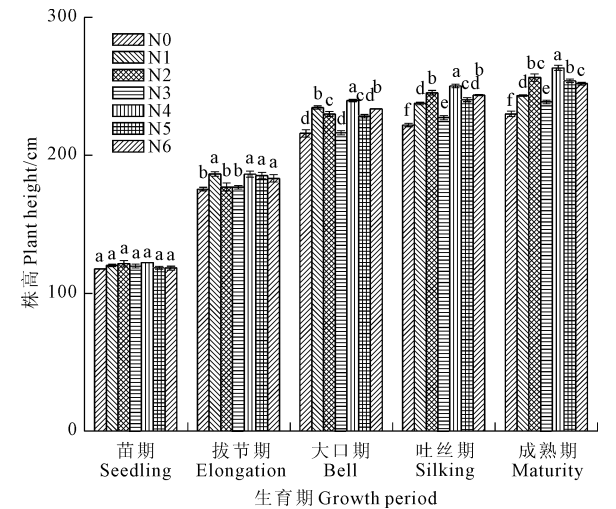


图 1 不同施氮时期对玉米株高的影响

Fig.1 The effect of different nitrogen fertilizer applications periods on plant height of maize

叶面积的变化规律与小麦基本相同,在拔节期叶面积与施肥量呈正相关,拔节期施肥最多的 N1 处理叶面积增长最显著,相对于 N0 处理增长了 14.5%,其次是 N4、N5 处理,相对于 N0 处理分别增长了 6.71%、6.63%,N4、N5 和 N6 处理间株高无显著差异,叶面积对施氮量更敏感,差异性更明确。在大喇叭口期 N2 处理氮肥全部施入对叶面积的增长有显著的提升,相对未施氮肥的 N0 处理增长了 17.71%;N5 处理大喇叭口期累积施肥量仍较 N1、N2 和 N4 处理低,所以叶面积增长量较低,相对于 N0 处理增长了 10.73%。N4、N2 和 N6 处理由于在大喇叭口期追施氮肥,其叶面积增长尤为显著。在吐丝期,N4 处理叶面积最高,其次是 N2 处理,再次是 N6 处理,可见大喇叭口期施肥,对于叶面积增长有持续的作用效果。N3 处理叶面积吐丝期有所增长但是由于前期营养缺乏,增长率不大,相对于 N0 处理增长了 4.16%。成熟期 N2、N4 处理叶面积差异不大,N5 吐丝期的施肥在成熟期起到保绿的作用,此时与 N6 差异不大。N1 处理氮肥全部在拔节期施入,到后期肥力不足,相对 N0 处理仅增长了 7.79%。N3 处理增长仍不显著,为 3.94%。综合株高和叶面积,可以发现前期肥料缺失,即使在吐丝期追施,其生长也不能得到显著提高。综合整个玉米生育期的叶面积,可以发现在大喇叭口期施肥处理,相对于不施肥处理的叶面积增长最为显著,其次是吐丝期,再次是成熟期。玉米的叶面积在大喇叭口期达到最大,在吐丝期开始逐渐降低。

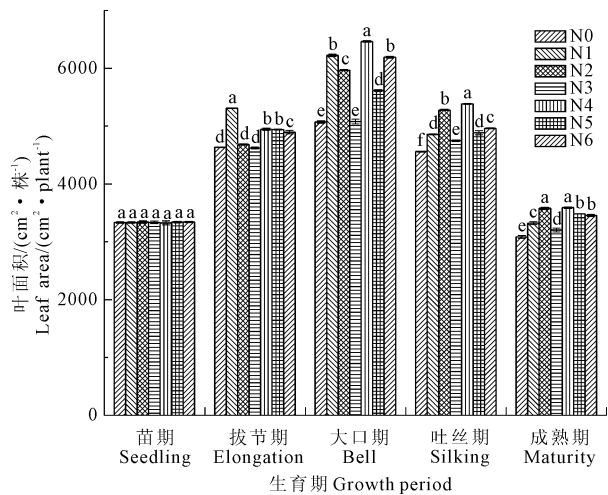


图 2 不同施氮时期对玉米叶面积的影响

Fig.2 The effect of different nitrogen fertilizer applications periods on leaf area of maize

2.2 不同施氮时期对玉米干物质积累与分配的影响

由表 1 可知,在吐丝期,玉米干物质的分配量表现为:茎>叶>穗。玉米叶的干物质所占总干物质质量的百分数在 24.2%~25.4%之间,茎所占干物质质量在 55.5%~58.3%之间,穗所占的干物质质量在 16.4%~20.9%之间。N0 处理的叶和茎占比相对于其它处理大,穗占总干物质的比重相对于其它处理小。在吐丝期茎和叶最高的处理是 N4 处理,其次是 N2 处理。叶的干物质大小关系为 N4>N2>N6>N5>N1>N3>N0,茎的干物质大小情况同叶片干物质大小情况一致。吐丝期穗的干物质与茎叶有所差别,表现为 N5>N4>N6>N2>N1>N3>N0。相对于茎和叶的情况,N5、N6 穗部干物质较其它处理显著增长,即吐丝期追肥可以促进穗部的生长发育,提高穗部干物质质量。从单株干物质总量来看,N4 处理明显优于其它处理,单株干物质质量最大为 205.04 g,相对于 N0 处理增长了 30.48%;N2、N5 和 N6 处理差异不大,相对于 N0 处理增长了 23.65%~24.23%。在成熟期,玉米叶片占总干物质的 12.0%~12.9%,茎占总干物质的 27.2%~29.1%,籽粒占总干物质的 37.0%~39.6%,穗轴占总干物质的 20.6%~23%。在成熟期,玉米干物质的分配量表现为:籽粒>茎>苞叶+穗轴>叶。玉米叶片和茎的干物质质量都有所降低,穗的干物质质量增加,穗轴与籽粒占总干物质的 57.9%~60.7%,相对于吐丝期的 16.4%~20.9%,增加了 39.8%~41.5%。在成熟期玉米叶片和茎秆干物质质量和总干物质质量表现为 N4>N2>N5>N6>N1>N3>N0。与吐丝期相比,N5 的叶片和茎秆的干物质质量高于 N6。N2、N4 和 N5 的籽粒干物质质量差异不显著,但与 N1 的籽粒干物质质量差异显著。

2.3 不同施氮时期对夏玉米干物质转运的影响

由表 2 可知,不同营养器官的干物质转运量表现为茎+鞘>叶。茎的干物质转运量占总转运量的 70.34%~77.34%。与 N0 处理相比,N1、N2、N4 和 N6 处理叶片和茎秆的转运量均有显著的提高,N3、N5 处理提高不明显,N5 处理叶片干物质转运量甚至少于对照处理。各处理叶片转运效率在 12.6%~20.5%之间,N6 处理转运效率最大,N5 处理转运效率最低。各处理茎鞘的转运效率在 16.7%~21.1%之间,表现为 N4 最高为 21.1%,N2 与 N6 相同且与 N1 处理差异不大,N0、N3 和 N5 转运效率相对较低分别为 16.7%、17.3%、18.3%。各处理总转运量表现为 N4 最高为 33.6 g·株⁻¹,N0 最小为 21.3 g·株⁻¹,总转运效率 N6 最高为 41.1%,N5 最小为 30.9%。各处理茎鞘转运效率>叶转运效率。叶的转运量对籽粒的贡献率在

4.8%~8.1%之间,N5 处理最小;茎鞘的转运量对籽粒的贡献率在 14.4%~20.0%之间,N3 处理最小,N0 处理次之,N5 处理为 16.4%显著低于 N1、N2、N4、N6 处理。总转运量对籽粒的贡献率表现为,N4>N6>N2>N1>N5>N3。N5、N3 无论是茎鞘还是叶,其转运量转运效率,对籽粒的贡献率相对于其它处理都有

极显著的差异,甚至低于 N0 处理,可见在吐丝期施肥,不能增加干物质的转运,会使叶片和茎秆持续增长,转运量减少。花后光合同化物积累表现为 N5>N3>N4>N2>N6>N1>N0。可见,虽然 N5、N3 转运量相对较低,但是吐丝期施肥可促进植物光合同化作用,提高其花后光合同化效率,从而实现增产的目的。

表 1 不同施氮时期对夏玉米吐丝期和成熟期干物质分配的影响
Table 1 Effects of different nitrogen application on the distribution of dry matter in silking stage and maturity

处理 Treatments	吐丝期 Silking stage				成熟期 Maturity				
	叶 Leaf	茎 Stem	穗 Spike	合计 Total	叶 Leaf	茎 Stem	籽粒 Grain	穗轴 Axis	合计 Total
N0	39.9±0.4d	91.6±2.0f	25.7±0.1e	157.1±0.9e	33.9±0.5e	76.2±0.7e	97.7±0.1d	54.0±1.0f	261.9±1.8g
N1	45.5±1.0c	106.0±1.3d	31.5±0.2cd	183.1±1.1c	37.3±0.6c	84.8±0.4c	115.0±0.9c	64.3±0.4d	301.4±1.1e
N2	48.1±1.3b	113.3±0.3ab	33.7±0.7c	195.2±0.6b	39.5±0.3b	89.9±0.6ab	119.6±0.7b	72.3±1.3a	321.4±1.3b
N3	41.9±0.5d	95.5±0.5e	30.9±0.5d	168.3±0.6d	34.9±0.5d	78.9±1.2d	114.9±0.3c	61.1±0.8e	289.8±1.8f
N4	50.5±0.1a	115.4±0.8a	39.1±0.6a	205.0±2.6a	41.2±0.1a	91.0±1.5a	121.4±0.4a	72.6±0.3a	326.4±1.6a
N5	46.0±0.2bc	108.0±0.2cd	40.6±1.4a	194.6±0.8b	40.2±0.5b	88.2±1.0b	120.4±0.5ab	71.0±0.5b	319.8±1.1c
N6	47.0±0.6bc	111.0±0.2bc	36.3±1.0b	194.3±2.4b	37.4±0.6c	88.1±0.9b	119.7±0.6b	66.6±1.2c	311.8±0.7d

注:同列数据后相同字母表示无显著差异($P>0.05$),下表同。
Note: values within a column with the same letter indicated no significant difference($P>0.05$),and hereinafter.

表 2 不同施氮时期对玉米各器官干物质转移效率的影响
Table 2 Effects of different nitrogen application on the dry matter transfer efficiency of maize organs

处理 Treatments	叶 Leaf			茎+鞘 Stem + sheath			总和 Total			花后光合 同化物累积 Accumulation of dry matter after silking /(g·plant ⁻¹)
	T /(g·plant ⁻¹)	TE /%	TP /%	T /(g·plant ⁻¹)	TE /%	TP /%	T /(g·plant ⁻¹)	TE /%	TP /%	
N0	6.0±0.5	15.0±1.1	6.1±0.5	15.3±1.2	16.7±0.9	15.7±1.2	21.3±0.7	31.7±0.2	21.8±0.7	76.4±0.7
N1	8.2±0.2	18.0±0.1	7.1±0.2	21.2±1.6	20.0±1.3	18.5±1.4	29.5±1.4	38.1±1.1	25.6±1.2	85.5±1.7
N2	8.6±1.4	17.9±1.5	7.2±1.2	23.4±0.8	20.6±0.7	19.5±0.6	32.0±0.7	38.5±1.9	26.7±0.6	87.7±0.9
N3	7.0±0.6	16.6±1.3	6.1±0.5	16.6±0.5	17.3±0.5	14.4±0.5	23.5±0.1	34.0±0.9	20.5±0.1	91.4±0.2
N4	9.3±0.1	18.4±0.1	7.7±1.0	24.3±0.5	21.1±0.9	20.0±1.1	33.6±1.5	39.5±1.6	27.7±1.1	87.8±2.8
N5	5.8±0.1	12.6±0.0	4.8±0.0	19.8±0.6	18.3±0.6	16.4±0.5	25.6±0.6	30.9±0.6	21.3±0.5	94.8±0.7
N6	9.6±0.1	20.5±0.4	8.1±0.0	22.9±0.4	20.6±0.3	19.1±0.4	32.5±0.3	41.1±0.1	27.2±0.4	87.2±0.8

注:T-干物质转移量;TE-干物质转移效率;TP-干物质转移量对籽粒的贡献。
Note: T- dry matter translocation; TE- dry matter translocation efficiency; TP- dry matter translocation to proportion for grain.

2.4 不同施氮时期对玉米产量及产量构成要素的影响

由表 3 可知,不同施氮模式对穗行数、行粒数、穗粗、产量的影响具有一定的差异性;对于穗长、秃尖长、百粒重的影响差异不明显。N4 处理的穗行数、行粒数、产量明显优于其它处理,N1、N2、N5 和 N6 的穗行数没有显著差异,但是相对于 N0 处理,增加了 27.78%~38.89%。N4、N5 处理的行粒数>N1、N2、N6 处理的行粒数>N3 处理的行粒数>N0 处理的行粒数,相对于 N0 处理增长了 13.6%~25.3%。穗粗

的规律同穗行数基本一致,相对于 N0 处理增长了 1.64%~9.61%。穗长各施氮处理相对于 N0 处理增加了 3.95%~15.12%,百粒重各施氮处理相对于 N0 处理增加了 11.86%~19.56%。由各性状的增长幅度来看,施氮对于穗行数的影响最大,其次是行粒数,再次是百粒重,对于穗粗和秃尖长的影响较小。N4 处理各项穗部性状指标最好,产量最高,相对于 N0 处理增长了 24.28%,其次是 N5 处理,相对于 N0 处理增加了 23.25%。N5 处理与 N0、N2、N6 处理产量均没有显著性差异。N1 和 N3 处理的产量相对于 N0 处理分

别增长了 17.7% 和 17.6%。在株高和叶面积的增长中,N3 处理明显不如 N1 处理,N5,N6 处理相对于 N2 处理,增长量相对较低,但是在籽粒的百粒重和产量上,N5、N6 处理有了明显的增长,与 N2 处理没有显著

差异;N3 处理与 N1 处理也没有显著差异。N3、N5 和 N6 处理都是在吐丝期追肥的处理,可见吐丝期施肥,可以提高玉米籽粒重量,使其更加饱满,从而提高产量。

表 3 不同施氮时期对夏玉米产量及产量构成要素的影响
Table 3 Effects of different nitrogen applications on yield and yield component of maize plant

处理 Treatments	穗行数 Row number per ear	行粒数 Kemels per row	穗粗 Ear diameter /mm	穗长 Ear length /cm	秃尖长 Bare top length/cm	百粒重 100-kemel weight/g	产量/(g·株 ⁻¹) Yield /(g·pant ⁻¹)
N0	12.0±0.3d	29.3±0.3c	39.1±0.8d	14.3±0.4b	3.7±1.1a	19.26±0.4c	97.7±0.1d
N1	15.3±0.5c	34.0±0.6b	41.2±0.7bc	15.6±0.4a	3.5±1.8a	21.58±1.4b	115.0±0.9c
N2	16.7±0.6bc	35.0±0.7b	41.8±1.0b	15.7±0.6a	3.1±0.6a	22.40±0.4ab	119.6±0.6b
N3	15.3±0.3c	33.3±0.3b	39.7±0.6cd	14.9±0.8a	3.5±0.4a	21.54±0.4b	114.9±0.3c
N4	17.0±0.2a	36.7±0.2a	42.8±0.8a	16.5±1.3a	2.6±0.1a	23.03±0.4a	121.4±0.4a
N5	16.7±0.5bc	36.7±1.2a	42.4±0.3b	15.9±0.6a	2.7±0.8a	22.48±0.2ab	120.4±0.5ab
N6	16.0±0.8c	35.0±0.8b	41.4±0.4bc	15.6±1.1a	3.5±0.2a	22.17±0.7b	119.7±0.6b

3 讨 论

于民伟等研究发现,大喇叭口期和吐丝期施氮肥有利于玉米生育后期光合产物的形成^[8],王启现等认为吐丝期施氮显著提高了籽粒的第二灌浆峰值,可以提高籽粒的产量^[11]。在本试验中,吐丝期施氮的 N3,N5 处理,花后光合产物积累明显高于其它处理,从而增加籽粒产量。

王春虎等提出种肥:大喇叭口期施肥:吐丝期施肥为 1:6:3 时,玉米叶面积和株高能得到明显提高,从而提高单株籽粒的干物质积累,提升产量^[9]。王云奇等认为,夏玉米增施吐丝肥可以延缓吐丝后光合叶面积下降速度,从而为籽粒灌浆提供较多的源,最终提高粒重和产量^[15]。申丽霞等认为,在总施氮量相同的条件下,播种期施氮结合大喇叭口期和吐丝期二次追施氮效果最好,其次为大喇叭口期一次追施氮,吐丝期一次追施及前重后轻的施氮方式导致后期叶片缺肥早衰,影响光合产物的积累和产量^[16]。本试验中,三次施氮的 N6 处理,产量反而不如拔节期、大喇叭口二次施氮的 N4 处理,与申丽霞研究结果不同,可能是由于相同的施氮量,需氮量较旺盛的玉米生育期前期施肥量较少,N6 处理前期叶片生长不旺盛,最终导致籽粒产量低于 N4 处理。

夏来坤等研究发现 3 叶期施氮结合 12 叶期追氮籽粒产量最高,但对千粒重影响差异不明显^[17]。同本试验各处理结果基本一致,不同处理的千粒重差异不大。徐钰的研究表明,施氮处理下,玉米籽粒干物质重 50% 以上来自吐丝前期储存同化物的再转移^[18]。戴明宏研究表明,不同氮肥管理模式下,春雨

米生育期各器官中,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%^[19]。本试验表明茎秆的干物质转运量最大,对籽粒的贡献率也最大,与其结论不一致,需要进一步的研究。

胡昌浩对夏玉米的研究发现,各器官干物质转移量对籽粒的贡献率依次是茎秆、苞叶、穗轴、叶片、叶鞘及穗柄,总转运量对籽粒的贡献率为 20.3%^[20],与本研究基本一致。随着植物生育进程推进生长中心发生转移,光合同化物在各器官中的分配也随之变化,植物光合作用也就呈现动态变化^[21]。籽粒植物花后光合同化物的积累与产量形成正相关^[22-23]。植物籽粒产量在很大程度上取决于生育后期的光合同化能力,其花后光合同化物对籽粒的贡献率为 73.5% ~ 81.2%^[24]。本试验研究表明花后光合同化物对籽粒的贡献率为 72.3% ~ 79.5%,与其结论基本一致。

4 结 论

本研究发现,在土壤肥力较高的情况下,拔节期大喇叭口期 5:5 施肥,产量和干物质量显著高于其它处理。全拔节期施肥和全吐丝期施肥产量和干物质量显著低于其它处理,说明施肥过早后期叶片容易早衰,影响后期光合产物的积累;施肥时期过于靠后,前期作物营养不足,影响叶片和株高的生长,导致叶片面积不足并严重影响作物产量。吐丝期施肥和拔节期吐丝期 5:5 施肥花后光合同化物积累量显著高于其它处理,其叶面积在吐丝期后相对其它处理也有较大增长,说明吐丝期施肥可以延缓叶片衰老,从而提升产量。相对于其它吐丝期末施氮处理,吐丝期施氮

较多的处理叶片和茎鞘对籽粒的贡献率相对较低,可见吐丝期施氮不利于叶片和茎秆的干物质转运。吐丝期轻施的 N6 处理叶片和茎的干物质转运相对较高,因此前期重施氮,吐丝期轻追施,对产量提高更有帮助。在不同的施氮处理下,茎 + 鞘转运量大于叶片转运量,叶片对籽粒的贡献率在6.1% ~ 8.1%之间,茎 + 鞘对籽粒的贡献率在14.4% ~ 20.0%之间,总转运量对籽粒的贡献率为20.5% ~ 27.7%,与胡昌浩的研究基本一致,说明玉米的籽粒形成主要靠花后光合产物的积累。

参 考 文 献:

[1] 中华人民共和国国家统计局.中国统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2014.

[2] 赵 营,同延安,赵护兵.不同供氮水平对夏玉米养分累积、转运及产量的影响[J].植物营养与肥科学报,2006,12(5):622-627.

[3] 王春虎,陈士林,董 娜,等.华北平原不同施氮量对玉米产量和品质的影响研究[J].玉米科学,2009,17(1):128-131.

[4] 郑 伟,何 萍,高 强,等.施氮对不同土壤肥力玉米氮素吸收和利用的影响[J].植物营养与肥科学报,2011,17(2):301-309.

[5] Hellebrand H J, Scholz V, Kern J. Fertilizer induced nitrous oxide emissions during energy crop cultivation on loamy sand soils[J]. Atmospheric Environment, 2008,42(36):8403-8411.

[6] 岳文俊,张富仓,李志军,等.水氮耦合对甜瓜氮素吸收与土壤硝态氮累积的影响[J].农业机械学报,2015,46(2):88-96.

[7] 咎亚玲,王朝辉,周 玲,等.不同养分投入的各品种小麦产量及养分效率差异研究 [J].农业机械学报,2012,43(9):91-98.

[8] 丁民伟,崔彦宏,刘梦星,等.氮肥用量与施用时期及分配比例对夏玉米干物质积累的影响[J].河北农业大学学报,2007,30(6):1-4.

[9] 王春虎,杨文平.不同施肥方式对夏玉米植株及产量性状的影响[J].中国农学通报,2011,27(9):305-308.

[10] 张丽丽,王 璞,陶洪斌.氮肥运筹对夏玉米生长发育及氮素利用的影响[J].华北农学报,2010,25(S2):177-181.

[11] 王启现,王 璞,王伟东,等.吐丝期施氮对夏玉米粒重和籽粒粗蛋白的影响[J].中国农业大学学报,2002,7(1):59-64.

[12] Foulkes M J, Sylvester-Braley R, Weightman R, et al. Identifying physiological traits associated with improved drought resistance in winter wheat[J]. Field Crops Research, 2007,103(1):11-24.

[13] Ehdaie B, Alloush G A, Waines J G. Genotypic variation in linear rate of grain growth and contribution of stem reserves to grain yield in wheat [J]. Field Crops Research, 2008,106(1):34-43.

[14] Alvaro F, Royo C, Villegas D, et al. Grain filling and dry matter translocation responses to source – sink modifications in a historical series of durum wheat[J]. Crop Science, 2008,48(4):1523-1531.

[15] 王云奇,陶洪斌,王 璞,等.施氮模式对夏玉米产量和籽粒灌浆的影响[J].中国生态农业学报,2012,20(12):1594-1598.

[16] 申丽霞,王 璞.不同氮肥运筹方式对夏玉米产量和氮素利用的影响[J].山西农业科学,2009,37(2):36-39.

[17] 夏来坤,陶洪斌,许学彬,等.不同施氮时期对夏玉米干物质积累及氮肥利用的影响[J].玉米科学,2009,17(5):138-140.

[18] 徐 钰,江丽华,林海涛,等.不同氮肥运筹对玉米产量、效益及土壤硝态氮含量的影响[J].土壤通报,2011,(5):1196-1199.

[19] 戴明宏,陶洪斌,王利纳,等.不同氮肥管理对春玉米干物质生产、分配及转运的影响[J].华北农学报,2008,23(1):154-157.

[20] 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.

[21] Singh S P, Lal K B, Ram R S, et al. Photosynthetic efficiency and productivity of pigeon pea[J]. India Journal of Pulses Research, 1993, 6(2):212-214.

[22] Kane M V, Steel C C, Grabau L J. Early maturing soybean cropping system II. Growth and development responses to environmental conditions[J]. Agronomy Journal, 1997,89(3):456-464.

[23] Board J E. A regression model to predict soybean cultivars yield performance at late planting dates[J]. Agronomy Journal, 2002,94(3):483-492.

[24] Zhang Y P, Zhang Y H, Wang Z M, et al. Characteristics of canopy structure and contributions of non-leaf organs to yield in winter wheat under different irrigated conditions[J]. Field Crops Research, 2011, 123(3):187-195.