

包膜尿素与普通尿素对夏玉米碳氮代谢的影响

易镇邪¹, 陈平平¹, 屠乃美¹, 王璞²

(1.湖南农业大学 农学院, 湖南 长沙 410128; 2.中国农业大学 农学与生物技术学院, 北京 100094)

摘要: 以郑单 958 玉米为材料, 连续 2 年比较了包膜尿素与普通尿素对夏玉米碳氮代谢影响的差异。结果表明: 施氮提高叶片与茎鞘总糖含量, 12 叶展前以普通尿素处理效果较好, 吐丝后以包膜尿素处理效果较好; 施氮显著提高叶片与茎鞘全氮含量, 以包膜尿素处理效果较好; 施氮降低茎鞘 C/N, 降幅以包膜尿素处理较大; 施氮使氮收获指数下降, 包膜尿素处理降幅较普通尿素处理大; 叶片与茎鞘碳转运发生于乳熟至成熟期, 而叶片与茎鞘氮转运分别主要发生于乳熟至成熟期和吐丝至乳熟期, 碳、氮转运量一般以包膜尿素处理较大, 包膜尿素能改善夏玉米碳氮代谢状况。

关键词: 夏玉米; 包膜尿素; 普通尿素; 碳氮代谢

中图分类号: S143.1; S513 文献标志码: A 文章编号: 1007-1032(2011)03-0225-08

Effect of coated and uncoated normal urea on carbon and nitrogen metabolism in summer maize

YI Zhen-xie¹, CHEN Ping-ping¹, TU Nai-mei¹, WANG Pu²

(1.College of Agronomy, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China; 2.College of Agronomy and Biotechnology, China Agricultural University, Beijing 100094, China)

Abstract: Zhengdan958 was used as material to study the differences in carbon and nitrogen metabolism in summer maize exerted by two types of nitrogen fertilizers, coated urea and normal uncoated urea, in successive two years. The results showed that total sugar content in leaves, sheathes and stems was improved by both nitrogen applications. The improvement effect was greater before 12-leaf stage in normal uncoated urea treatment, while greater after silking in coated urea (CU) treatment. Nitrogen content in leaves, sheathes and stems were significantly improved by nitrogen application, and the effect of CU was greater. Ratio of carbon to nitrogen in sheathes and stems were decreased by nitrogen application, and the effect of CU was greater. Nitrogen harvest index was decreased by nitrogen application, and the decreasing extent in CU treatment was bigger. Translocation of carbon in leaves, sheathes and stems occurred in dough to maturity, and translocation of nitrogen in leaves, sheathes and stems mainly occurred in dough to maturity and silking to dough respectively, and the translocation amounts of carbon and nitrogen in CU treatment were bigger. The results showed that CU could improve carbon and nitrogen metabolism in summer maize.

Key words: summer maize; coated urea; urea; carbon and nitrogen metabolism

前人对玉米碳氮代谢进行的研究主要集中在玉米产量物质的来源^[1-4]、施氮量对玉米碳水化合物的形成与累积的影响^[2-3,5-6]、叶片与茎鞘 C/N 对光合产物合成与转运的影响^[4]等方面。近年来,为克服传统氮肥(碳铵、尿素等)肥效期短、利用率低与污染环境

等问题,人们开展了长效氮肥的研制与应用研究。结果表明,长效氮肥可明显提高作物产量和氮肥利用率^[7-10]。笔者研究了氮肥类型对夏玉米产量形成、氮素吸收与利用、土壤无机氮的动态及根系分布与含氮量等的影响^[11-16],认为华北平原夏季玉米以包

收稿日期: 2010-12-30

基金项目: 国家自然科学基金项目(30471015, 30571089); 湖南省教育厅项目(07C359)

作者简介: 易镇邪(1975—), 男, 湖南冷水江人, 博士, 副教授, 主要从事作物高产与资源高效利用研究, yizhenxie@sina.com

膜尿素替代普通尿素,并改基肥+追肥的施肥模式为一次性基肥是完全可行的,能达到省工、增效与环保的目的^[15]。本研究比较施用包膜尿素与普通尿素条件下夏玉米碳氮代谢的差异,旨在为提高玉米产量与氮肥利用率提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试夏玉米品种为郑单 958。供试氮肥为包膜尿素和普通尿素:包膜尿素含 N 42%,由中国农业大学资源环境学院提供(自制);普通尿素含 N 46%,从市场购得。

1.2 试验设计

试验于 2004—2005 年在中国农业大学吴桥实验站进行。当地多年平均气温为 12.6 °C, 0 °C 积温 4 862.9 °C, 年平均降水量为 562 mm。2004 年降水 661.3 mm,其中 6—9 月分别为 190.7、259.8、70.1、35.2 mm;2005 年降水偏少,全年降水量为 312.4 mm,其中 6—9 月分别为 50.5、61.1、94.0、45.9 mm。2004 年播种至成熟期间 10 °C 积温为 2 605.9 °C,2005 年为 2 762.6 °C。

试验设 3 个施氮水平,共 5 个处理,不施氮(N 0)、普通尿素 N 90 kg/hm²(U90)、普通尿素 N 180 kg/hm²(U180)、包膜尿素 N 90 kg/hm²(CU90)、包膜尿素 N 180 kg/hm²(CU180)。随机区组设计,3 次重复。尿素 1/3 作基肥,2/3 于 10 叶期追施,包膜尿素一次性基肥。各处理分别配施磷(P₂O₅)、钾(K₂O) 90 kg/hm²。2005 年试验在 2004 年的相应小区上进行。两季夏玉米之间种植一季冬小麦,冬小麦水肥管理统一采用节水栽培技术(吴桥模式)^[17]。2005 年夏玉米于 6 月 16 日免耕播种(点播)播后浇水(30 mm),5 叶展定苗,密度为 7.5 万株/hm²。8 月 10 日吐丝,10 月 2 日收获,生育期 109 d。由于降水较少,于 8 月 1 日浇水 75 mm。

1.3 测定项目与方法

分别于 3 叶期、9 叶期、12 叶期、吐丝期、乳

熟期和成熟期取样,每小区取 3 株,分别将叶、茎、穗(苞叶+籽粒+穗轴)装袋,于 105 °C 杀青 60 min,在 80 °C 条件下烘至恒重后粉碎,用于测定全氮含量、可溶性糖含量和淀粉含量。全氮含量用半微量凯式定氮法测定^[18],可溶性糖与淀粉含量采用蒽酮比色法测定^[19]。

最大转运量即吐丝期至成熟期内,叶与茎鞘向外转运物质的总量,若某个阶段转运量为负值,则不计算在内。

最大转运率=最大转运量/吐丝期茎鞘总重×100%。

氮素再分配率=吐丝至成熟期叶与茎鞘 N 转运量/吐丝期叶与茎鞘 N 积累量×100%。

对籽粒氮贡献率=吐丝至成熟期叶与茎鞘 N 转运量/收获期籽粒 N 积累量×100%。

氮收获指数=籽粒氮积累量/植株氮积累量×100%。

数据采用 Excel 2003 进行处理;方差分析采用 SAS 9.0。

2 结果与分析

2.1 不同生育时期各施肥处理下郑单 958 玉米的碳代谢

2.1.1 叶片与茎鞘碳水化合物含量的变化

以可溶性糖与淀粉含量(下称“总糖含量”)变化来反映植株碳代谢情况。从图 1 可以看出,2004 年,自 3 叶展期始,叶片总糖含量呈上升趋势,至 12 叶展期达峰值,12 叶展期至吐丝期呈下降趋势,吐丝至乳熟期上升,乳熟至成熟期呈下降趋势。叶片总糖含量全生育期表现随施氮量增大而增大,2 种氮肥表现一致;氮肥类型间总糖含量有差异,12 叶展期以前以尿素处理较高,吐丝之后以包膜尿素处理较高。2005 年叶片总糖含量趋势表现为,9 叶展期至 12 叶展期下降,12 叶展期至乳熟期上升,乳熟之后迅速下降。氮肥类型间的差异与 2004 年基本一致。

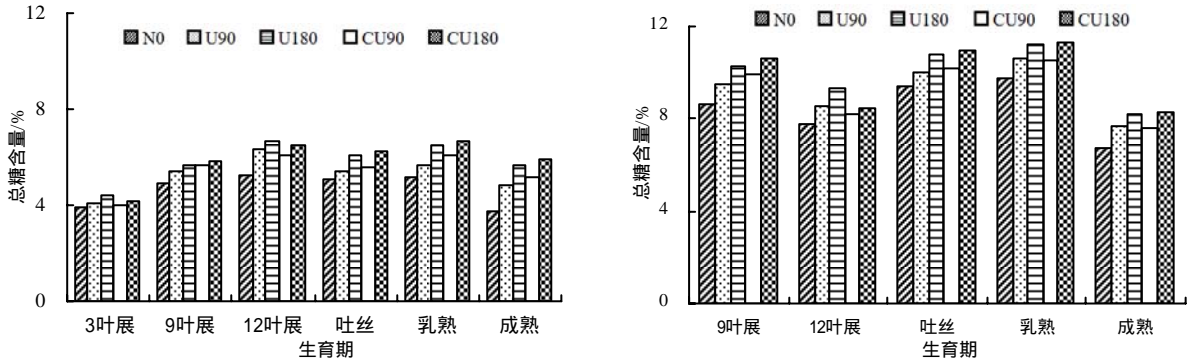


图 1 2004 年(左)与 2005 年(右)郑单 958 玉米叶片的总糖含量

Fig.1 Total sugar content in leaves of Zhengdan958 in 2004 (left) and 2005 (right)

茎鞘总糖的含量变化存在明显的年际间差异(图 2),主要表现在 12 叶展期至吐丝期,2004 年上升而 2005 年下降;9 叶展期至 12 叶展期表现为上升趋势,吐丝至成熟期表现为先升后降变化趋势,

即夏玉米茎鞘总糖含量在乳熟期有 1 个峰值。2 种类型氮肥间,12 叶展期以前一般以普通尿素处理较高,吐丝之后一般以包膜尿素处理较高。

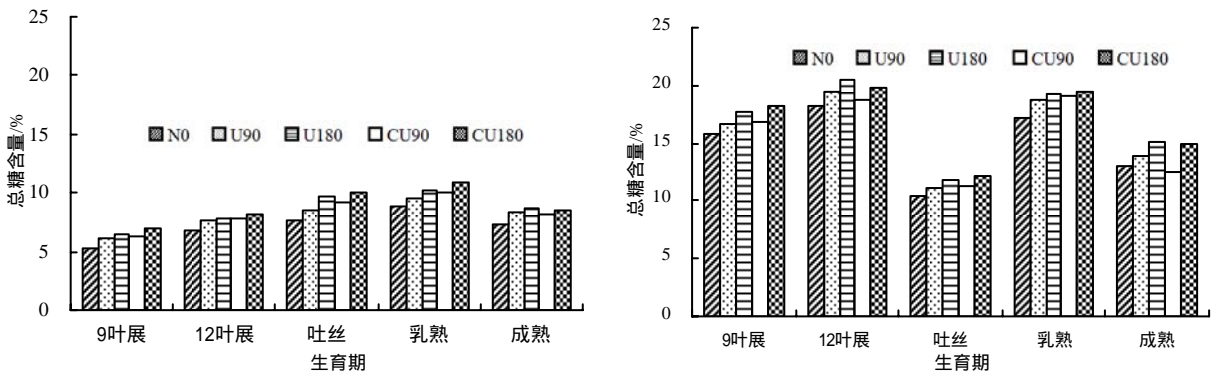


图 2 2004 年(左)与 2005 年(右)郑单 958 玉米茎鞘的总糖含量

Fig.2 Total sugar content in stems and sheaths of Zhengdan958 in 2004 (left) and 2005 (right)

2.1.2 叶片与茎鞘的碳转运

以 2005 年为例(表 1),考察 2 种类型氮肥对夏玉米吐丝后叶、茎鞘碳转运的影响。吐丝至乳熟期,除 U90 处理外,各处理叶、茎鞘仍处于物质累积过程中,且一般施氮量越大,累积越多。乳熟至成熟期,叶、茎鞘物质均向外输出,施氮量大者输出量

也大。普通尿素处理的最大碳转运量略小于不施氮处理,且 U180 < U90,而包膜尿素处理的显著大于不施氮处理,且呈现 CU180 处理大于 CU90 处理的趋势;最大转运率与最大转运量表现一致。可见,2 种类型氮肥间叶、茎鞘碳转运量与转运率差异明显,包膜尿素处理显著大于普通尿素处理。

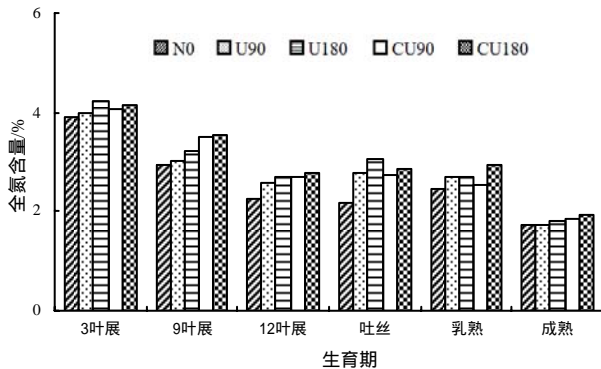
表 1 2005 年郑单 958 玉米叶片与茎鞘碳转运量

处理	Table 1 Translocation of C in leaves and stems and sheaths of Zhengdan958 in 2005				kg/hm ²	
	叶片碳转运量		茎鞘碳转运量		最大转运量	最大转运率/%
	吐丝期至乳熟期	乳熟期至成熟期	吐丝期至乳熟期	乳熟期至成熟期		
N 0	-191.8	352.2	-281.9	425.3	777.5c	14.33c
U90	82.9	206.5	169.3	251.1	709.7cd	12.34d
U180	-280.0	243.9	-722.0	387.6	631.5d	9.87e
CU90	-16.9	305.8	-84.3	24.3	1 030.1b	16.61b
CU180	-370.5	391.5	-741.8	38.6	1 230.1a	17.86ab

2.2 不同生育时期各施肥处理郑单 958 玉米的氮代谢

2.2.1 叶片全氮含量的变化

由图 3 可见,2 年各处理全氮含量除 2005 年施氮与不施氮处理间差距较 2004 年加大外,变化趋势基本一致。现以 2004 年为例,考察郑单 958 玉米叶片全氮含量的变化。施氮处理叶片全氮含量变化基本趋势为:3 叶展期至 12 叶展期下降,12 叶



展期至吐丝期略有上升,吐丝至乳熟期缓慢下降,乳熟之后迅速下降;不施氮处理与施氮处理略有差异,主要表现在 12 叶展期至乳熟期,不施氮处理表现先降后升趋势,而施氮处理与之相反。叶片全氮含量随施氮量增大而增大,2 种类型氮肥间有差异,9 叶展期至 12 叶展期及乳熟期以包膜尿素处理较高,而吐丝期以普通尿素处理较高。

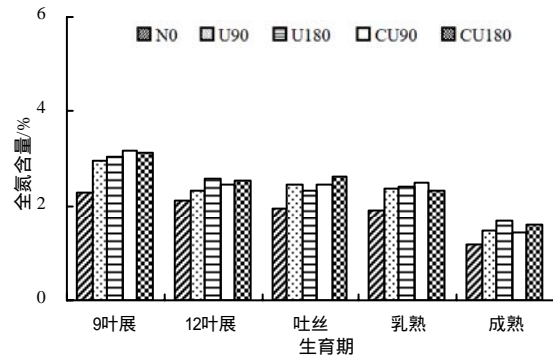


图 3 2004 年(左)与 2005 年(右)郑单 958 玉米叶片的全氮含量

Fig.3 Total N content in leaves of Zhengdan958 in 2004 (left) and 2005 (right)

2.2.2 茎鞘全氮含量的变化

由图 4 可见,2 年各处理茎鞘全氮含量自 9 叶展期往后呈持续下降趋势,其中下降幅度吐丝之前较吐丝之后大,年际间基本一致;茎鞘全氮含量随施氮量增大而增大,2005 年施氮与不施氮处理之间

的差异较 2004 年大;茎鞘全氮含量在两种类型氮肥处理间有差异,综合 2 年结果,9 叶展期至 12 叶展期及乳熟期一般以包膜尿素处理较高,而吐丝期以尿素处理较高,成熟期处理间差异较小。

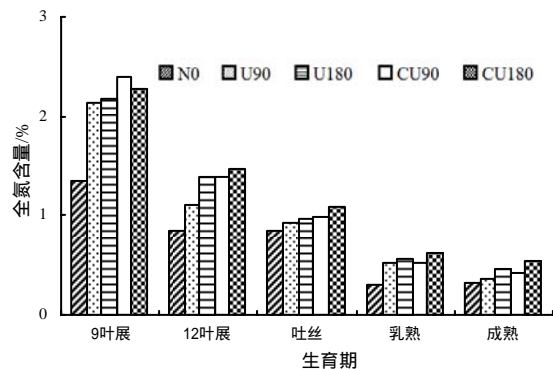
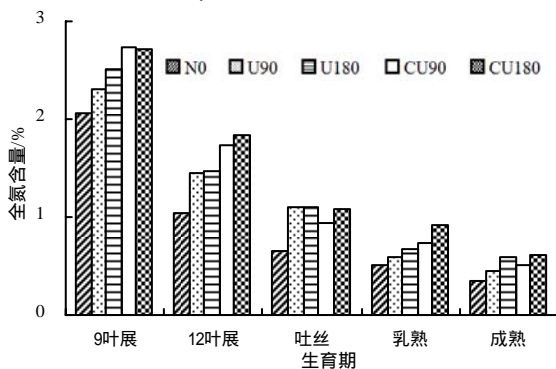


图 4 2004 年(左)与 2005 年(右)郑单 958 玉米茎鞘的全氮含量

Fig.4 Total N content in stem and sheath of Zhengdan958 in 2004 (left) and 2005 (right)

2.2.3 氮收获指数及叶片与茎鞘氮转运

氮收获指数(NHI)是反映氮素在植株体内转运的一个重要指标。从表 2 可知,郑单 958 玉米 NHI 具有年际间差异,各处理均表现 2005 年大于 2004

年。施氮使 NHI 显著降低(ZU90 除外),2 年表现较一致。同等施氮水平下,一般以普通尿素处理较大,在 2004 年施 N 90 kg/hm² 条件下差异显著。

表 2 2004 年与 2005 年郑单 958 玉米植株总氮、籽粒氮及氮收获指数

Table 2 Total nitrogen, grain nitrogen and nitrogen harvest index (NHI) of Zhengdan 958 in 2004 and 2005

处理	植株总氮/(kg·hm ⁻²)		籽粒氮/(kg·hm ⁻²)		氮收获指数/%	
	2004 年	2005 年	2004 年	2005 年	2004 年	2005 年
N 0	166.3	118.9	110.5	83.8	66.45a	70.48a
U90	192.5	160.9	128.6	115.5	66.81a	71.78a
U180	209.6	185.0	135.2	125.5	64.50b	67.84b
CU90	204.2	161.1	127.3	112.5	62.34c	69.83ab
CU180	214.4	189.8	137.6	129.7	64.18b	68.34b

表 3 为 2004 年各生育阶段叶、茎鞘氮素转运量。吐丝至乳熟期，多数处理叶片仍在累积氮素，而茎鞘已开始向外转运，且转运量随施氮量增大而增大；乳熟至成熟期，叶片氮素转运量较前一阶段加大，而茎鞘氮素转运量较前一阶段减小，此阶段叶、茎鞘氮素转运量仍有随施氮量增大而增大的趋

势。吐丝期至成熟期叶+茎鞘氮素再分配率在 30%~45% 之间，施氮处理大于不施氮处理；转运氮素对籽粒氮贡献率为 18%~42%，均随施氮量增大而增大。2 种类型氮肥间叶+茎鞘氮素转运量有差异，N 90 kg/hm² 条件下普通尿素处理的较高，而 N 180 kg/hm² 条件下包膜尿素处理的较高。

表 3 2004 年郑单 958 玉米生育后期叶和茎鞘氮素转运量

Table 3 N translocation amount from leaf and stem and sheath in late stage in 2004

处理	叶氮素转运量		茎鞘氮素转运量		(叶+茎鞘)氮素转运量	(叶+茎鞘)氮素再分配率/%	(叶+茎鞘)对籽粒氮贡献率/%
	kg/hm ²		kg/hm ²				
	吐丝~乳熟	乳熟~成熟	吐丝~乳熟	乳熟~成熟			
N0	-7.1	17.1	5.2	5.0	20.2e	30.10b	18.28e
U90	-0.7	18.7	19.6	6.1	43.7c	43.57a	33.89c
U180	2.8	25.2	17.5	6.8	52.3b	44.26a	38.75b
CU90	-2.5	15.6	3.6	15.7	32.4d	31.52b	25.45d
CU180	-10.5	36.9	9.2	22.1	57.7a	45.08a	41.93a

表 4 为 2005 年各生育阶段叶、茎鞘氮素转运量。吐丝至乳熟期，叶片氮素仍在累积，而茎鞘氮素开始外运。乳熟至成熟期，叶片氮素大量外运，茎鞘氮素转运量较前一阶段减小。吐丝至成熟期，

叶、茎鞘氮素总转运量在 28~51 kg/hm² 之间，施氮处理大于不施氮处理，包膜尿素处理明显高于普通尿素处理。

表 4 2005 年郑单 958 玉米生育后期叶和茎鞘氮素转运量

Table 4 N translocation amount from leaf, stem and sheath in late growing stage of different treatments in 2005

处理	叶氮素转运量		茎鞘氮素转运量		(叶+茎鞘)氮素转运量
	kg/hm ²		kg/hm ²		
	吐丝~乳熟	乳熟~成熟	吐丝~乳熟	乳熟~成熟	
N 0	-1.60	17.46	15.23	0.39	31.48c
U90	3.84	20.35	15.51	6.48	46.18b
U180	-7.82	19.89	9.74	6.21	28.02d
CU90	-1.52	27.98	17.72	7.24	51.42a
CU180	-3.19	23.85	13.14	8.38	42.18b

由 2 年结果可见，叶片氮素转运主要发生在乳熟至成熟期，而茎鞘氮素转运主要发生在吐丝至乳熟期；2 种类型氮肥间转运量在不同施氮水平和年

份下表现有差异。但整体来看，包膜尿素对叶、茎鞘氮素转运有一定促进作用。

2.3 不同生育时期各施肥处理郑单 958 玉米叶片与茎鞘碳氮比

由图 5 可见,2004 年郑单 958 玉米叶片碳氮比(C/N)基本变化趋势是:自 3 叶展期开始增大,12 叶展期达峰值,之后至吐丝期下降,吐丝后随施氮

处理持续增大,不施氮处理变化较小;2005 年叶片 C/N 变化与 2004 年存在较大差异。2 种类型氮肥间 C/N 有差异,12 叶展前一般以普通尿素处理较大,吐丝之后一般以包膜尿素处理较大。

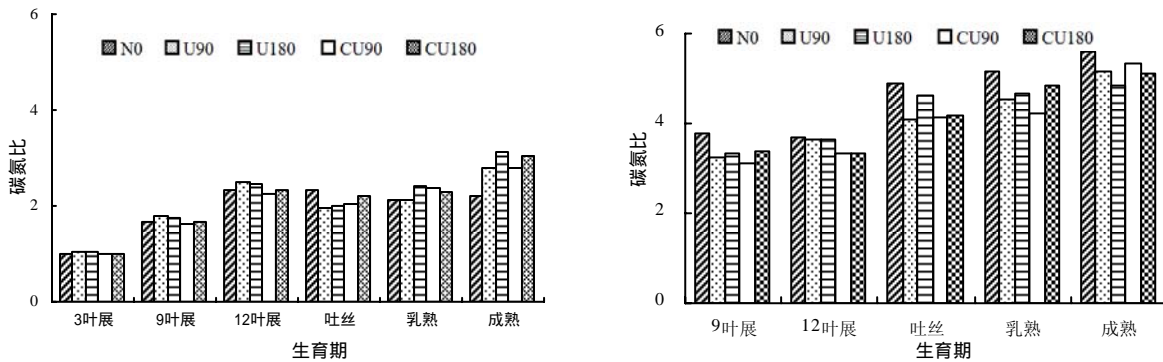


图 5 2004(左)与 2005(右)年郑单 958 玉米叶片碳氮比

Fig.5 C/N ratio in leaves of Zhengdan958 in 2004 (left) and 2005 (right)

由图 6 可见,郑单 958 玉米茎鞘 C/N 全生育期一般呈逐步增大趋势,其中吐丝之前增幅较吐丝之后小,2 年表现基本一致,只在 12 叶展期至吐丝期表现有差异。其原因在于,吐丝之前茎鞘累积的碳水化合物大量外运,而氮素外运较少,因而 C/N 较小,吐丝之后氮素转运量加大,因而 C/N 增大。不施氮处理 C/N 大于施氮处理,且随生育进程推进该

差距有增大趋势,这是由于不施氮处理生育前期氮营养不足,后期光合产物向外转运较施氮处理少所致。吐丝期之前,施氮处理间茎鞘 C/N 差异不大;吐丝后,不同施氮水平以及两种类型氮肥间茎鞘 C/N 差异增大,一般表现 N 180 kg/hm² 小于 N 90 kg/hm² 处理,而氮肥类型间以包膜尿素处理茎鞘 C/N 较小。

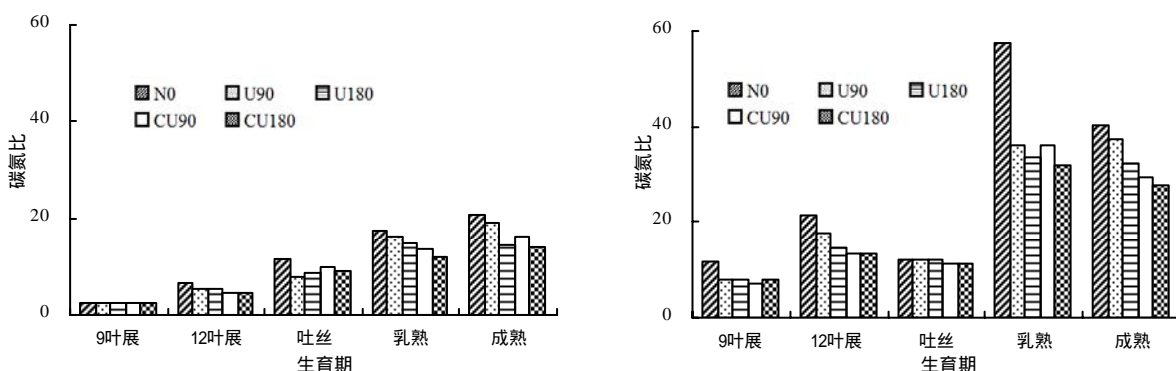


图 6 2004(左)与 2005(右)年郑单 958 玉米茎鞘碳氮比

Fig.6 C/N ratio in stem and sheath of Zhengdan958 in 2004 (left) and 2005 (right)

3 结论与讨论

关于玉米产量物质的来源,赵立臣等^[1]认为玉米籽粒中的碳 74.8%~92.8%来源于叶片的光合作用,7.2%~25.2%来源于抽雄前营养体碳素转移,氮

39.7%~52.9%来源于营养体的再转移,47.1%~60.3%由后期根系供应。金继运等^[2]、董炳友等^[3]也有类似研究结果。申丽霞等^[4]研究表明,施氮 0~240 kg/hm²,光合碳量占籽粒总碳的比例在 82.9%~87.5%,与不

施氮处理相比,施氮处理光合碳量大,但其光合碳量占籽粒总碳的比例较低。赵立臣等^[1]认为,物质来源与品种类型有关,保绿型玉米品种粒重形成主要来源于后期根系养分供应和叶片光合作用,而早衰型品种粒重形成较大程度上依赖于后期营养物质由营养体向籽粒转运。有关氮肥类型对夏玉米产量物质来源的影响,还有待进一步研究。

供氮水平显著影响玉米碳水化合物化合物的形成与转运、氮素的吸收与转运及碳氮平衡。研究^[2-3]表明,生育后期适宜的施氮量促进玉米营养体碳、氮向籽粒运输,可提高玉米收获指数与氮收获指数,同时促进生长后期根系氮素吸收,但施氮量过大会造成铵同化过程中与籽粒竞争光合产物,不利于籽粒碳的积累。本研究发现,施氮使夏玉米 *NHI* 显著降低,与金继运等^[2]、董炳友等^[3]的研究结果不一致,而与李世娟等^[20-21]在小麦上的研究结果一致。本研究同时发现,2 种类型氮肥间夏玉米 *NHI* 具有明显差异,在相同施氮量下,夏玉米 *NHI* 以尿素处理较大,其中,在 2004 年施 N 90 kg/hm² 条件下差异达显著水平。关义新等^[6]研究表明,在低氮条件下植株的可溶性糖和淀粉的含量较高,蛋白质含量较低,而随供氮量的增加,叶片中的蛋白质含量增加,而可溶性糖和淀粉的含量下降,而过量供氮对植株的物质生产与分配以及氮素代谢均有不利的影响,造成玉米贪青晚熟,物质转运下降,收获指数与产量下降。本研究发现,施氮量对玉米营养器官(叶片、茎鞘)碳转运具有显著影响,且 2 种类型氮肥间差异明显:施用包膜尿素,玉米叶片、茎鞘碳转运量与施氮量呈正相关,而施用普通尿素则表现完全相反;同一施氮水平下,碳转运量表现为包膜尿素大于普通尿素的趋势。本研究同时发现,施氮量对叶片、茎鞘氮转运也有显著影响,同时,氮肥类型间、年份间也有差异:2004 年,叶片与茎鞘氮素总转运量随施氮量增大而增大,N 90 kg/hm² 条件下表现为普通尿素大于包膜尿素的趋势,而 N

180 kg/hm² 条件下表现为包膜尿素大于普通尿素的趋势;2005 年,普通尿素与包膜尿素各处理营养器官氮转运量表现为 90 kg/hm² 最高,180 kg/hm² 次之,不施氮处理最低的趋势。何萍等^[5]研究了氮肥用量对玉米叶片衰老的影响及其机制,结果表明,氮肥用量不足或过量均加速生长后期叶面积系数及穗叶叶绿素含量的下降进程,使叶片提早衰老,但二者作用机制不同;氮肥用量不足导致穗叶叶肉细胞叶绿体结构性差,维管束鞘细胞碳水化合物累积减少,营养体氮素再分配率大而引起叶片早衰;而过量供氮则导致生长后期硝酸还原酶活性过高,氮素代谢过旺,消耗了大量碳水化合物,以致下位叶提早脱落,同时叶肉细胞叶绿体片层结构膨胀,维管束鞘细胞淀粉粒大量消耗,无核淀粉粒出现,导致叶绿素含量下降,光合能力降低而出现早衰。有关氮肥类型对玉米碳氮转运与平衡的影响机制有待进一步研究。

关于叶、茎鞘 C/N 对光合产物合成与转运的影响,申丽霞等^[4]研究认为,叶片是进行光合作用的主要器官,维持较高的 C/N 是叶片碳代谢正常进行的基本保证;而茎鞘是光合产物暂时贮存和运输的器官,适度较低的 C/N 是光合产物向外高效运输的标志。笔者研究^[22]表明,随施氮量增加,玉米产量提高,而茎鞘 C/N 降低。可见,茎鞘 C/N 较低对产量提高有利。

本试验连续进行了 2 年,研究结果在年际间具有一定差异,可能是两年的天气条件差异过大所致,同时还受到试验材料上的限制,因此,有关氮肥类型对夏玉米碳氮代谢的影响,还有待深入研究。

参考文献:

- [1] 赵立臣. 春玉米高产施肥营养生理研究进展[J]. 农业与技术, 2003, 23(6): 90-91.
- [2] 金继运, 何萍. 氮钾营养对春玉米后期碳氮代谢与粒重形成的影响[J]. 中国农业科学, 1999, 32(4): 55-62.
- [3] 董炳友, 王丽君, 崔丽雅, 等. 氮对玉米碳氮代谢与粒重形成的影响[J]. 黑龙江八一农垦大学学报, 2003,

- 15(2): 12-15.
- [4] 申丽霞. 碳氮代谢对夏玉米穗粒数形成的影响机理[D]. 北京: 中国农业大学农学与生物技术学院, 2005.
- [5] 何萍, 金继运, 林葆. 氮肥用量对春玉米叶片衰老的影响及其机理研究[J]. 中国农业科学, 1998, 31(3): 66-71.
- [6] 关义新, 林葆, 凌碧莹. 光、氮及其互作对玉米幼苗叶片光合和碳、氮代谢的影响[J]. 作物学报, 2000, 26(6): 806-812.
- [7] 郭强, 赵久然, 陈国平, 等. 长效肥料对提高夏玉米氮肥利用率的研究[J]. 北京农业科学, 1998, 16(3): 35-37.
- [8] 陈光, 李立中, 张平, 等. 包膜尿素对玉米吸氮及产量的影响[J]. 吉林农业大学学报, 1996, 18(4): 61-65.
- [9] 黄玉溢, 谭宏伟. 长效氮肥在几种土壤上的行为特征[J]. 西南农业学报, 2003, 16(1): 94-97.
- [10] 谢培才, 马冬梅, 张兴德, 等. 包膜缓释肥的养分释放及其增产效应[J]. 土壤肥料, 2005 (1): 24-28.
- [11] 易镇邪, 王璞, 张红芳, 等. 氮肥类型与施用量对夏玉米产量与品质性状的影响[J]. 玉米科学, 2006, 14(2): 130-133.
- [12] 易镇邪, 王璞, 张红芳, 等. 氮肥类型与施用量对华北平原夏玉米源库关系的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2006, 12(3): 294-300.
- [13] 易镇邪, 王璞, 申丽霞, 等. 不同类型氮肥对夏玉米氮素累积、转运与氮肥利用的影响[J]. 作物学报, 2006, 32(5): 772-778.
- [14] 易镇邪, 王璞, 陈平平, 等. 氮肥类型对夏玉米氮素吸收与利用的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2008, 14(3): 472-478.
- [15] 易镇邪, 王璞, 陈平平, 等. 包膜尿素在华北平原夏玉米上的应用[J]. 生态学报, 2008, 28(10): 4919-4928.
- [16] 易镇邪, 王璞, 屠乃美. 夏播玉米根系分布与含氮量对氮肥类型与施氮量的响应[J]. 植物营养与肥料学报, 2009, 15(1): 91-98.
- [17] 李建民, 王璞, 周殿玺, 等. 冬小麦节水高产栽培技术及其生理基础的研究[C]// 李建民, 周殿玺, 王璞, 等. 冬小麦水肥高效利用栽培技术原理. 北京: 中国农业大学出版社, 2000: 1-16.
- [18] 湖南农学院. 作物栽培学实验指导[M]. 北京: 农业出版社, 1988: 243-246.
- [19] 何照范. 粮油籽粒品质及其分析技术[M]. 北京: 农业出版社, 1985.
- [20] 李世娟, 周殿玺, 李建民, 等. 限水灌溉条件下冬小麦氮肥利用研究[J]. 中国农业大学学报, 2000, 5(5): 17-22.
- [21] 李世娟, 周殿玺, 李建民. 限水灌溉下不同氮肥用量对小麦产量及氮素分配利用的影响[J]. 华北农学报, 2001, 16(3): 86-91.
- [22] 易镇邪. 氮肥类型对夏玉米产量与水、氮高效利用及氮素损失的影响[D]. 北京: 中国农业大学农学与生物技术学院, 2006.

责任编辑: 杨盛强