植物营养与肥料学报 2012,18(2):315-323
Plant Nutrition and Fertilizer Science

超高产春玉米干物质及养分积累与转运特征

杨恒山[1],张玉芹[1],徐寿军[1],李国红[1],高聚林[2],王志刚[2]
(1 内蒙古民族大学农学院,内蒙古通辽 028042;2 内蒙古农业大学农学院,内蒙古呼和浩特 010019)

摘要:以金山27为供试品种,设超高产栽培(SHY)和普通高产栽培(CK)2个处理,通过2009、2010年2年的田间试验,研究了超高产春玉米干物质及氮、磷、钾养分积累与转运特征。结果表明,超高产栽培下春玉米单位面积干物质积累量极显著高于普通高产栽培,尤以吐丝后为甚,吐丝后干物质积累率较普通高产栽培高4.5%(2009)和3.2%(2010),干物质积累对产量的贡献率较普通高产栽培高8.5%(2009)和3.9%(2010)。超高产栽培春玉米营养器官干物质转运率为15.1%(2009)和14.9%(2010),转运量对产量贡献率为16.6%(2009)和18.5%(2010),确保了协调的源库关系。超高产栽培植株吐丝后氮、磷、钾的积累率及其对子粒贡献率均显著高于普通高产栽培,其中,氮积累对子粒贡献较普通高产栽培高30.0%(2009)和16.3%(2010),磷积累对子粒贡献较普通高产栽培高10.8%(2009)和6.0%(2010),钾积累对子粒贡献较普通高产栽培高7.9%(2009)和8.2%(2010),在生育后期保持了较强的养分吸收能力。超高产栽培玉米茎鞘中氮、磷转运率均高于普通高产栽培,叶片中氮、钾转运率低于普通高产栽培。其中,超高产栽培玉米叶片氮的转运率为41.0%(2009)和42.9%(2010),对子粒氮的贡献率小于普通高产栽培,超高产栽培使叶片在玉米生育后期维持了较高的光合能力。

关键词:超高产春玉米;干物质;NPK养分;积累;转运
中图分类号:S513.01　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1008-505X(2012)02-0315-09

Characteristics of dry matter and nutrient accumulation and translocation of super-high-yield spring maize

YANG Heng-shan[1], ZHANG Yu-qin[1], XU Shou-jun[1], LI Guo-hong[1], GAO Ju-lin[2], WANG Zhi-gang[2]
(*1 College of Agronomy, Inner Mongolia University for the Nationalities, Tongliao, Inner Mongolia 028042, China;*
2 College of Agronomy, Inner Mongolia Agricultural University, Huhhot 010019, China)

Abstract: Dry matter and N, P and K nutrient accumulations and transformations of super-high yield maize were studied. The maize cultivar, Jinshan 27, was grown under super-high-yield cultivation (SHY) and normal high-yield cultivation (CK) condition in 2009 and 2010. The results show that dry matter accumulation amount per hectare of the super-high-yield cultivation is significantly higher than that of the normal cultivation, especially after the silking. The dry matter accumulation rates of the super-high-yield cultivation after the silking are higher than those of the normal cultivation, which are increased by 4.5% in 2009 and by 3.2% in 2010. The contribution rates of dry matter accumulation to the production under the normal high-yield cultivation are increased by 8.5% in 2009 and by 3.9% in 2010. The dry matter translocation rates of vegetative organs of super-high-yield cultivation spring maize are 15.1% in 2009 and 14.9% in 2010, and the contribution rates of translocation to production are 16.6% in 2009 and 18.5% in 2010, which ensure the coordination of source-sink relationship. The N, P and K accumulation rates after silking and their contributions to grain under the super-high-yield cultivation are significantly higher than those under the normal high-yield cultivation, and the N contribution rates are increased by 30.0% in 2009 and 16.3% in 2010, the P contribution rates are increased by 10.8% in 2009 and 6.0% in 2010

收稿日期:2011-08-25　　**接受日期**:2011-12-06
基金项目:973计划项目(2009CB118601);国家公益性行业(农业)科研专项(201103003);国家科技支撑计划(2011BAD16B13);内蒙古民族大学科研创新团队支持计划项目(NMD1003)资助。
作者简介:杨恒山(1967—),男,内蒙古兴和人,博士,教授,主要从事作物高产栽培方面的教学与科研工作。
Tel:0475-8314830,E-mail:yanghengshan2003@yahoo.com.cn

and the K contribution rates are increased by 7.9% in 2009 and 8.2% in 2010. The translocation rates of N and P of stem-sheath under the super-high-yield cultivation are higher than those under the normal cultivation, while the translocation rates of N and K of leaves are contrary. Among them, the translocation N rates of leaves are 41.0% in 2009 and 42.9% in 2010, and the contribution rates to grain nitrogen under the super-high-yield cultivation are lower than those under the normal high-yield cultivation, which make the leaves of maize maintain a high photosynthetic capacity in the late growth stage.

Key words: super-high-yield spring maize; dry matter; N, P and K nutrients; accumulation; translocation

玉米持续增产是保障我国粮食安全的关键,超高产技术的研究对进一步提升玉米单产水平具有重要的推动作用[1-2]。玉米子粒产量是由生育期内干物质及养分的积累、分配和转移特性所决定的,围绕玉米的物质和养分积累与转运,国内外学者开展了大量研究[3-8]。关于营养器官物质转运及其对子粒增产的贡献,多从品种角度探讨。胡昌浩等[9]、李飒等[10]通过比较不同年代品种的干物质积累特性,发现新品种灌浆物质主要来源于花后的光合作用,由营养器官转移到子粒中的比率减少。马赟花等[11]通过研究不同高产玉米品种干物质积累转运规律,指出花后干物质转移对子粒增产的贡献较大,是子粒增产的主要来源。马国胜等[12]研究指出,玉米营养器官干物质转运对子粒贡献率的大小与品种有关。在养分积累与转运方面,则多从氮肥水平、类型及运筹等方面展开。吴迪等[13]研究表明,适宜的氮肥运筹方式、施用有机肥等均有利于春玉米养分转运效率的提高。易镇邪等[14]认为,氮素水平对夏玉米营养器官(叶 + 茎鞘)氮素转运量及其对子粒氮贡献率有影响,表现为高氮 > 低氮 > 不施氮。赵营等[15]则认为,随着施氮量的增加,夏玉米氮素的转运量、转运效率及在子粒中的比例都降低,说明施用过量的氮不利于氮素向子粒转运。迄今为止,有关超高产春玉米干物质及氮、磷、钾养分积累与转运的研究较少[16-18],特别是养分转运的研究鲜见报道。本文以当前生产中主推高产栽培模式为对照,系统地研究超高产栽培(耐密高产品种、合理密植、优化肥水管理和深松改土等综合措施)下春玉米干物质和养分积累与转运规律,为玉米超高产栽培提供理论指导。

1 材料与方法

1.1 试验区自然概况

西辽河平原地处世界玉米生产的黄金带,土壤肥沃,井灌条件良好,具有实现玉米大面积超高产的潜力和优势。玉米种植面积稳定在 6.0×10^5 hm^2 左右,平均单产 7.50 t/hm^2,较全国平均单产 5.25 t/hm^{2}高 40%以上,总产约占内蒙古自治区玉米总产的30%。本课题组自 2009 年开展春玉米超高产研究以来,经农业部玉米专家组现场测产验收,试区内共有 7 块试验、示范田产量在 15 t/hm^2 以上,试验田最高产量为 18.62 t/hm^2;示范田最大面积为 90 hm^2,平均产量为 16.81 t/hm^2。

1.2 试验设计

试验于 2009 ~ 2010 年在地处西辽河平原的内蒙古民族大学实验农场(43°36′N、122°22′E,海拔 178 m)进行。试验田土壤为灰色草甸土,2009 年和 2010 年播前耕层土壤养分含量分别为:有机质含量 27.6 g/kg 和 24.6 g/kg,全氮 0.93 g/kg 和 0.96 g/kg,碱解氮 53.9 mg/kg 和 58.78 mg/kg,速效磷 8.57 mg/kg和 10.81 mg/kg,速效钾 94.75 mg/kg 和 79.92 mg/kg。

以当前生产中推广的普通高产栽培模式为对照,研究超高产栽培下春玉米干物质积累和养分积累与转运特性。供试品种为金山 27,由通辽金山种业公司提供。超高产栽培和普通高产栽培均等行距种植,行距 50 cm,小区面积 60 m^2,随机排列,3 次重复。2009 年 5 月 1 日播种,9 月 24 日收获; 2010 年 5 月 2 日播种,9 月 26 日收获。磷、钾肥一次性基施;氮肥超高产栽培在拔节期、大喇叭口期和吐丝期按 3∶6∶1 的比例追施,普通高产栽培在小喇叭口期一次性追施。试验设计方案见表 1。

1.3 测定项目与方法

于吐丝期、吐丝后 15 d 和成熟期,每个小区取代表性植株 3 株,按器官分离,105℃杀青 30 min,65℃烘干至恒重后测定干物质重。样品经粉碎后,分别用半微量凯氏定氮法、钒钼黄比色法和火焰分光光度法测定各器官的氮、磷、钾含量[19]。

表 1　田间试验方案

Table 1　Design of the field experiment

处理 Treatment	整地方式 Land preparation method	种植密度 Density ($\times10^4$ plant/hm^2)	施肥量 (kg/hm^2) Application amount		
			N	P_2O_5	K_20
CK	旋耕灭茬 Rotary	7.5	260	105	45
SHY	旋耕灭茬、深松 Rotary and deep loosening	9.0	375	170	250

注(Note):CK—对照 Control; SHY—超高产栽培 Super-high-yield cultivation.

1.4　相关参数计算

吐丝前干物质(养分)积累率(%) = 吐丝期干物质(养分)积累量/收获时干物质(养分)积累量 ×100

吐丝后干物质(养分)积累量 = 收获时干物质(养分)积累量 - 吐丝期干物质(养分)积累量

吐丝后干物质(养分)积累率(%) = 吐丝后干物质(养分)积累量/收获时干物质(养分)积累量 ×100

干物质(养分)转运量 = 吐丝后 15 d 各器官干物质(养分)积累量 - 收获期相应器官干物质(养分)积累量[20]

干物质(养分)转运率(%) = 器官干物质(养分)转运量/吐丝后 15 d 相应器官干物质(养分)积累量 ×100[20]

吐丝前物质(养分)积累对产量的贡献率(%) = 干物质(养分)转运量/子粒产量 ×100

吐丝后物质(养分)积累对产量的贡献率(%) = 100 - 吐丝前干物质(养分)积累对产量的贡献率

1.5　数据处理与统计分析

运用 DPS 软件进行统计分析。

2　结果与分析

2.1　不同栽培模式下春玉米干物质积累

表 2 表明,超高产栽培下春玉米干物质积累量极显著高于普通高产栽培,尤以吐丝后为甚。干物质积累率和干物质积累对子粒的贡献率则表现为,吐丝前超高产栽培低于普通高产栽培,吐丝后高于普通高产栽培。超高产栽培吐丝后干物质积累率较普通高产栽培高 4.5%(2009)和 3.2%(2010),吐丝后干物质积累对产量的贡献率较普通高产栽培高 8.5%(2009)和 3.9%(2010)。说明超高产栽培后期干物质生产能力更强。

表 2　不同栽培模式下春玉米干物质积累及对子粒的贡献

Table 2　Accumulation of dry matter and contribution rate to grain in different cultivations of spring maize

年份 Year	栽培法 Cultivation method	积累量(kg/hm^2) Accumulation of dry matter		积累率(%) Accumulation rate		对子粒贡献率(%) Contribution rate to grain	
		吐丝前 BS	吐丝后 AS	吐丝前 BS	吐丝后 AS	吐丝前 BS	吐丝后 AS
2009	CK	15406.7 bB	12075.8 bB	53.8	46.2	17.6	82.4
	SHY	16108.0 aA	15066.7 aA	51.7	48.3	10.6	89.4
2010	CK	15640.5 bB	12002.0 bB	56.6	44.4	14.4	85.6
	SHY	16851.9 aA	14231.1 aA	54.2	45.8	11.1	88.9

注(Note): CK—对照 Control; SHY—超高产栽培 Super-high-yield cultivation. BS—Before silking; AS—After silking. 数据后不同小、大写字母分别表示同一指标同一年度栽培模式间差异达 0.05、0.01 显著水平 For the same item, different capital letters and small letters indicate significantly different between models of cultivation at the same year at the 0.05 and 0.01 probability levels, respectively.

2.2　不同栽培模式下春玉米器官干物质转运

超高产栽培叶片的转运量与普通高产栽培差异不显著,茎鞘及茎鞘和叶的转运量均高于普通高产栽培,但茎鞘和叶片的转运率均低于普通高产栽培;叶片转运率较普通高产栽培低 4.7%(2009)和 6.2%(2010),茎鞘转运率较普通高产栽培低 3.2%

(2009)和3.6%(2010),茎鞘和叶总转运率较普通高产栽培低3.1%(2009)和4.3%(2010)(表3)。说明超高产栽培模式下子粒增产的主要来源是吐丝后的同化产物,而非营养器官的物质转移。

超高产和普通高产栽培模式下,器官转运量对产量的贡献均为茎鞘大于叶片。超高产栽培叶片、茎鞘转运量对子粒贡献均低于普通高产栽培,叶片转运量对子粒贡献分别低7.5%(2009)和6.1%(2010),茎鞘转运量对子粒贡献分别低3.1%(2009)和6.1%(2010);茎鞘和叶片总转运量对子粒贡献则比普通高产栽培分别低5.1%(2009)和6.1%(2010)。

表3 不同栽培模式下春玉米干物质转运

Table 3 Amount of translocation of maize in different models of cultivation

年份 Year	栽培法 Cultivation method	转运量 (kg/hm²) Amount of translocation			转运率 (%) Translocation rate			贡献率 (%) Contribution ratio		
		叶 L	茎鞘 SS	叶+茎鞘 L+SS	叶 L	茎鞘 SS	叶+茎鞘 L+SS	叶 L	茎鞘 SS	叶+茎鞘 L+SS
2009	CK	1155.0 aA	1506.5 bB	2661.5 bA	16.7	14.9	15.6	7.9	9.6	17.5
	SHY	1224.5 aA	1636.5 aA	2861.0 aA	16.1	14.4	15.1	7.3	9.3	16.6
2010	CK	1152.3 aA	1406.3 bA	2558.6 bA	17.8	14.4	15.6	8.2	11.5	19.7
	SHY	1209.7 aA	1565.1 aA	2774.8 aA	16.7	13.9	14.9	7.7	10.8	18.5

注(Note):CK—对照 Control; SHY—超高产栽培 Super-high-yield cultivation. L—Leaf; SS—Stem and sheath. 数据后不同小、大写字母分别表示同一指标同一年度栽培模式间差异达0.05、0.01显著水平 For the same item, different capital letters and small letters indicate significantly different between models of cultivation in the same year at the 0.05 and 0.01 probability levels, respectively.

2.3 不同栽培模式下春玉米氮、磷、钾积累

2.3.1 氮、磷、钾阶段积累量及积累率 由图1可知,超高产栽培植株氮、磷、钾积累量在吐丝前与普通高产栽培差异不显著,吐丝后氮积累量为114.5 kg/hm²(2009)和106.01 kg/hm²(2010),钾积累量为48.25 kg/hm²(2009)和29.69 kg/hm²(2010),均显著高于普通高产栽培;磷的积累量分别为29.42 kg/hm²(2009)和26.16 kg/hm²(2010),亦显著高于普通高产栽培。由图2可知,超高产栽培氮、磷、钾积累率吐丝前与普通高产栽培差异不显著,吐丝后显著高于普通高产栽培,说明超高产栽培吐丝后对养分的吸收能力较强。

2.3.2 氮、磷、钾阶段积累量对产量的贡献率 超高产栽培吐丝前氮积累量对子粒的贡献小于普通高产栽培,磷、钾积累量对子粒的贡献与普通高产栽培差异不显著;吐丝后氮、磷、钾积累量对子粒的贡献均高于普通高产栽培,氮积累对子粒贡献较普通高产栽培高30.0%(2009)和16.3%(2010),磷

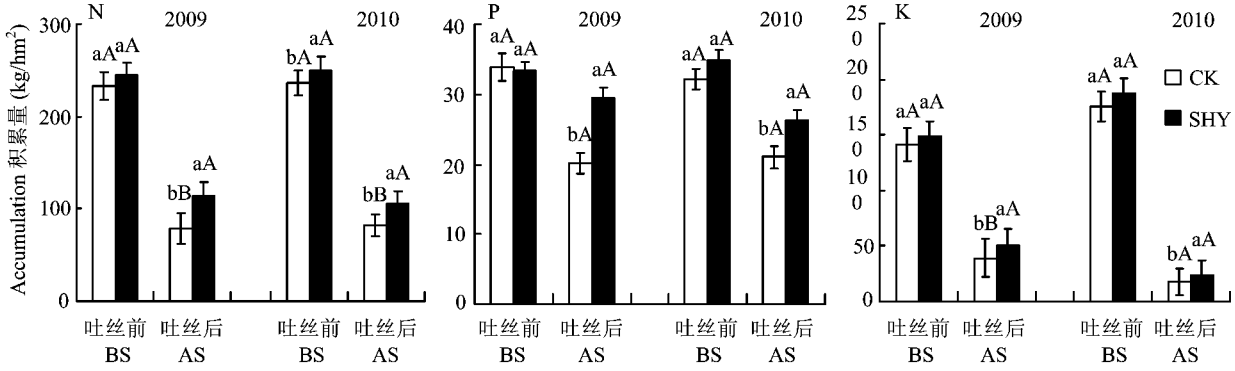

图1 不同栽培模式下春玉米吐丝前后氮、磷、钾积累量

Fig. 1 Accumulations of N, P and K before and after silking in different models of cultivation

[注(Note):CK—对照 Control; SHY—超高产栽培 Super-high-yield cultivation. BS—Before silking; AS—After silking. 方柱上不同小、大写字母分别表示同一年度栽培模式差异分别达0.05、0.01显著水平 Different capital letters and small letters above the bars indicate significantly different between models of cultivation in the same year at the 0.05 and 0.01 probability levels, respectively.]

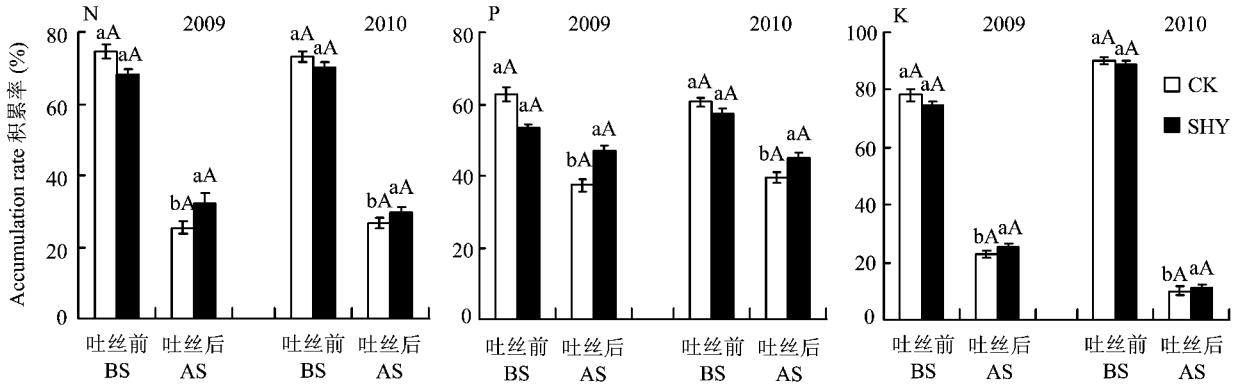

图 2　不同栽培模式下春玉米吐丝前后氮、磷、钾积累率

Fig. 2　Accumulation rates of N, P and K of maize before and after silking in different models of cultivation

[注(Note)：CK—对照 Control；SHY—超高产栽培 Super-high-yield cultivation. BS—Before silking；AS—After silking. 方柱上不同小、大写字母分别表示同一年度栽培模式差异分别达 0.05、0.01 显著水平 Different capital letters and small letters above the bars indicate significantly different between models of cultivation in the same year at the 0.05 and 0.01 probability levels, respectively.]

积累对子粒贡献较普通高产栽培高 10.8%(2009)和 6.0%(2010)，钾积累对子粒贡献较普通高产栽培高 7.9%(2009)和 8.2%(2010)(图 3)。

2.4　不同栽培模式下春玉米器官氮、磷、钾转运

2.4.1 器官氮、磷、钾转运量及转运率　超高产栽培茎鞘中氮、磷、钾的转运量均高于普通高产栽培，叶中氮、磷、钾的转运量与普通高产栽培差异不显著。超高产栽培茎鞘中氮、磷转运率均高于普通高产栽培，钾转运率与普通高产栽培差异不显著；叶中氮、钾转运率低于普通高产栽培，磷转运率与普通高产栽培差异不显著(图 4)。超高产栽培茎鞘中养分的转运率高，叶片中转运率较低，生育后期叶片保持较高的同化能力，这是其实现超高产的生理原因之一。

2.4.2 器官氮、磷、钾转运量对子粒的贡献　由图 5 可知，超高产栽培茎鞘中氮、磷、钾转运量对子粒的贡献率与普通高产栽培差异均不显著；叶中氮、磷、钾转运量对子粒的贡献率均小于普通高产栽培；茎鞘和叶片总的氮、磷、钾转运量对子粒的贡献率均低于普通高产栽培。说明超高产栽培子粒中来源于后期根系吸收的养分高于普通高产栽培。

3　讨论

3.1　超高产春玉米干物质积累及转运

子粒灌浆物质的来源分为两部分：一部分是开花后的同化产物，包括直接输送到子粒中的光合产物和开花后形成的暂贮藏性干物质的再转移；一部分是开花前生产的暂贮藏于营养器官中、于灌浆期

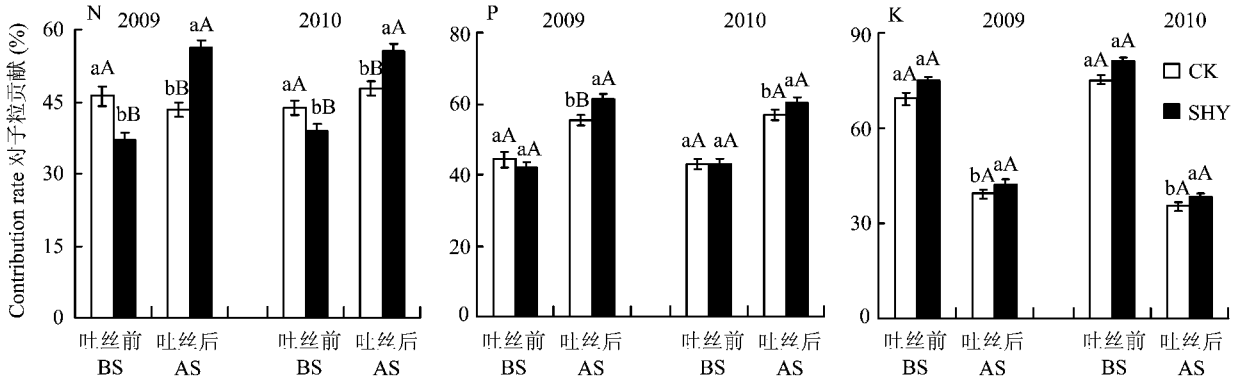

图 3　不同栽培模式下春玉米吐丝前后氮、磷、钾积累对子粒贡献率

Fig. 3　Contribution rates of N, P and K to grain before and after silking in different models of cultivation

[注(Note)：CK—对照 Control；SHY—超高产栽培 Super-high-yield cultivation. BS—Before silking；AS—After silking. 方柱上不同小、大写字母分别表示同一年度栽培模式差异分别达 0.05、0.01 显著水平 Different capital letters and small letters above the bars indicate significantly different between models of cultivation in the same year at the 0.05 and 0.01 probability levels, respectively.]

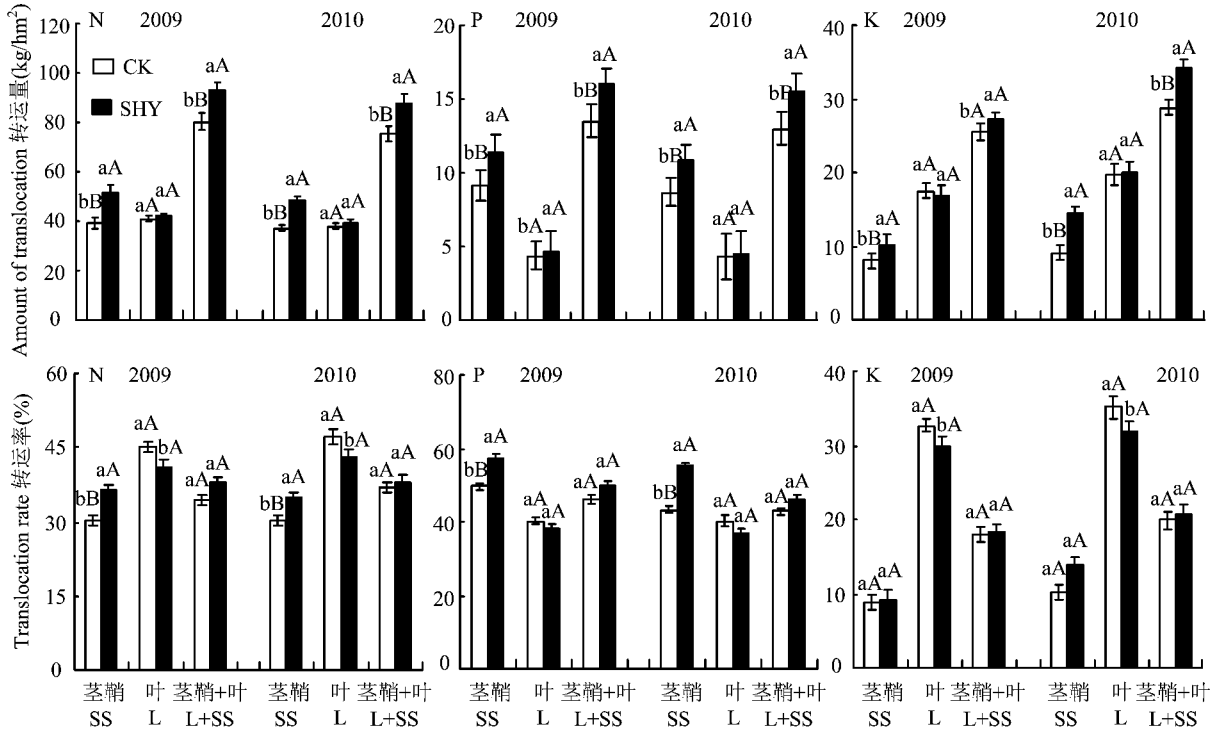

图4 不同栽培模式下春玉米氮、磷、钾素的转运量和转运率

Fig. 4 Amounts of translocation and translocation rates of N, P and K in different models of cultivation

[注(Note): CK—对照 Control; SHY—超高产栽培 Super-high-yield cultivation. L—Leaf; SS—Stem and sheath. 方柱上不同小、大写字母分别表示同一年度栽培模式差异分别达0.05、0.01 显著水平 Different capital letters and small letters above the bars indicate significantly different between models of cultivation in the same year at the 0.05 and 0.01 probability levels, respectively.]

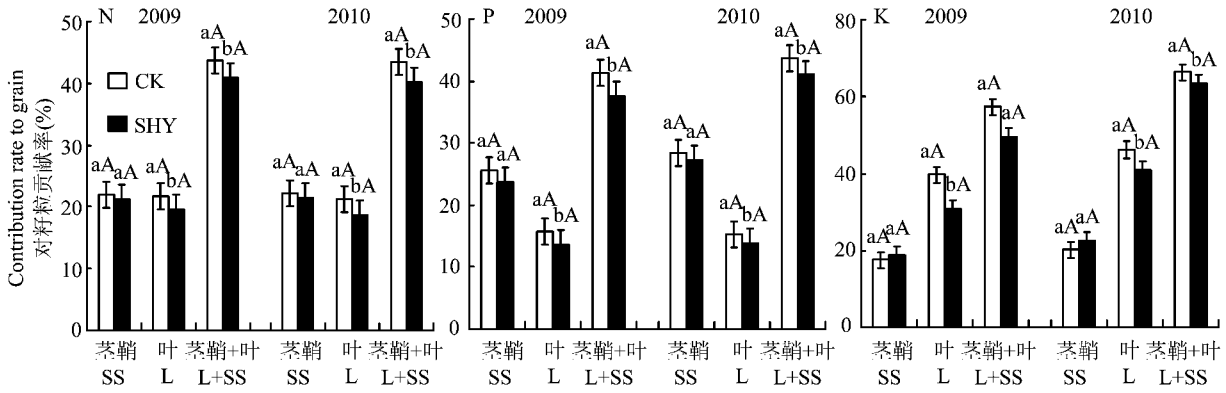

图5 不同栽培模式下春玉米氮、磷、钾转运对子粒贡献率

Fig. 5 Contribution rates of translocation of N, P and K to grain in different models of cultivation

[注(Note): L—Leaf; SS—Stem and sheath. 方柱上不同小、大写字母分别表示同一年度栽培模式差异分别达0.05、0.01 显著水平 Different capital letters and small letters above the bars indicate significantly different between models of cultivation in the same year at the 0.05 and 0.01 probability levels, respectively.]

间再转移到子粒中去的同化产物[21]。有研究表明,春玉米子粒产量在很大程度上决定于后期的光合生产能力,生育后期的光合生产干物量对子粒的贡献率为78%～84%[22],高产、超高产玉米生育后期具有较大的干物质积累优势[16,22-24]。与上述结论一致的是,本研究中超高产春玉米吐丝后干物质积累量显著高于普通高产栽培,与普通高产栽培相比,吐丝后干物质积累率较普通高产栽培高4.5%(2009)和3.2%(2010),吐丝后干物质积累对产量的贡献率较普通高产栽培高8.5%(2009)和3.9%

(2010)。因此，生育后期同化产物积累是超高产栽培春玉米子粒产量的主要来源，物质转运对子粒产量的贡献较小，其贡献率应该控制在适当的比例，贡献率低，不利于子粒充实，玉米难以达到超高产水平，贡献率过高，子粒“库”对有机物质的竞争能力增强，从而影响到“源”与“库”协调关系，最终表现为“源”过度地向子粒“库”转移光合产物，影响后期光合生产，进而明显影响产量的提高。刘克礼和刘景辉[25]指出，春玉米各器官向子粒转移的干物质量占子粒产量的百分率应控制在20%以下，超过20%会导致叶片早衰。本研究中，超高产栽培春玉米营养器官干物质转运率为15.1%(2009)和14.9%(2010)，转运量对产量贡献率为16.6%(2009)和18.5%(2010)，适当的贡献率创造了协调的源库关系，从而为超高产奠定了基础。

3.2　超高产春玉米养分积累及转运

氮、磷、钾养分吸收与转运直接影响着作物的生长发育状况，从而影响作物的产量。玉米养分运转对子粒的贡献大于干物质运转对子粒的贡献，Cliquet[26]和李潮海等[27]认为，氮转运对玉米子粒的贡献率远大于干物质的。且较多的研究认为，玉米氮、磷、钾转运对子粒养分的贡献率要大于吐丝后氮、磷、钾积累对子粒养分的贡献率。李文娟等[28]指出，子粒养分中54.5%～60.6%的氮、56.0%～85.8%的磷及52.4%～100.0%的钾可以依赖于营养体的转运。金继运和何萍[29]指出，玉米子粒氮素中39.7%～52.9%来源于营养体的氮素转运。曹国军等[18]表明超高产玉米子粒中77.52%的氮素、67.2%的磷素由营养器官转运。与上述结论不同的是，本研究中超高产玉米子粒中55.6%～56.2%的氮、60.2%～61.1%的磷由吐丝后积累，其积累量、积累率和对子粒养分的贡献率都大于普通高产栽培的，说明超高产玉米生育后期植株能维持较高的养分吸收能力。

尽管玉米一生中需要多种营养元素，氮仍然是限制其产量的首要因子。氮的积累和转运，尤其是叶片中的氮积累和转移，对实现玉米超高产意义重大。氮是碳同化关键酶RuBP羧化酶和PEP羧化酶及叶绿素的重要组分，叶片含氮量对光合能力的影响很大[30]。玉米叶片可溶性蛋白质含量高，RUBP羧化酶和PEP羧化酶活性较强[29]，光合作用增强。玉米灌浆期间若叶片中的氮被过多的转运，将导致叶片衰老与光合能力的下降[31-32]，绿叶持续期短，根系在后期吸氮量也相应减少，根系吸氮能力下降也会加速叶片的衰老[33]，限制产量的提高。王宜伦等[34]研究结果显示，超高产夏玉米叶片中氮转运率为71.78%。本研究中，叶片氮的转运量和对子粒氮的贡献率分别为42.00 kg/hm^2(2009)和39.55 kg/hm^2(2010)、19.7%(2009)和18.8%(2010)，都小于茎鞘的，且超高产栽培叶片氮的转运率41.0%(2009)和42.9%(2010)和对子粒氮的贡献率小于普通高产栽培的，使叶片在玉米生育后期维持了较高的光合能力，是实现玉米超高产的生理基础。

参 考 文 献：

[1] Bruulsema T W, Tollenaar M, Heckman J R. Boosting crop yields in the next century[J]. Bett. Crops Plant Food, 2000, 84: 9-11, 13.

[2] 王志敏，王树安. 集约多熟超高产-21世纪我国粮食生产发展的重要途径[J]. 农业现代化研究，2000，21(4)：193-196.
Wang Z M, Wang S A. Intensive multiple-cropping for super-high yield: major way to develop food production of china in the 21st century[J]. Reas. Agric. Modern, 2000, 21(4): 193-196.

[3] Karlendl, Lflanneryr, Sadler E J. Dry matter nitrogen, phosphorus and potassium accumulation rate by corn on Norfolk loamy Sand [J]. Agron. J., 1987, 79: 649-656.

[4] Tollenaar M, Daynard T B. Effect of source-sink rayion on dry matter accumulation and leaf senesece of maize[J]. Can. J. Plant Sci., 1987, 62: 855-860.

[5] Saidou A, Janssen B H, Temminghoff E J M. Effects of soil properties, mulch and NPK fertilizer on maize yield sand nutrient budgets on ferralitic soils in southern Benin[J]. Agric. Ecosyst. Environ., 2003, 100: 265-273.

[6] 陈国平，杨国航，赵明，等. 玉米小面积超高产创建及配套栽培技术研究[J]. 玉米科学，2008，16(4)：1-4.
Chen G P, Yang G H, Zhao M *et al*. Studies on maize small area super-high yield trails and cultivation technique[J]. J. Maize Sci., 2008, 16(4): 1-4.

[7] 张颖. 北方春玉米不同生育期干物质积累与氮、磷、钾含量的变化[J]. 玉米科学，1996，4(1)：63-65.
Zhang Y. Study on the characteristics of nutrients absorption and its distribution patterns of different types of spring maize[J]. J. Maize Sci., 1996, 4(1): 63-65.

[8] Moll R H, Jackson W A, Mikkelsen. Recurrent selection for maize grain yield: dry matter and nitrogen accumulation for partitioning changes[J]. Crop Sci., 1994, 34: 974-881.

[9] 胡昌浩，董树亭，王空军，等. 我国不同年代玉米品种生育特性演进研究：Ⅱ. 物质生产特性的演进[J]. 玉米科学，1998，(6)：49-53.
Hu C H, Dong S T, Wang K J *et al*. Study of growth and development evolution characteristics in maize varieties released in different years: Ⅱ. Evolution of dry matter production[J]. J. Maize Sci., 1998, (6): 49-53.

[10] 李飒，彭云峰，于鹏，等. 不同年代玉米品种干物质积累与钾素吸收及其分配[J]. 植物营养与肥料学报，2011，17(2)：325-332.
Li S，Peng Y F，Yu P *et al*. Accumulation and distribution of dry matter and potassium in maize varieties released in different years [J]. Plant Nutr. Fert. Sci.，2011，17(2)：325-332.

[11] 马赟花，薛吉全，张仁和，等. 不同高产玉米品种干物质积累转运与产量形成的研究[J]. 广东农业科学，2010，(3)：36-40.
Ma Y H，Xue J Q，Zhang R H *et al*. Relationship between dry matter accumulation and distribution to yield of different maize cultivars[J]. Guangdong Agric. Sci.，2010，(3)：36-40.

[12] 马国胜，薛吉全，路海东. 不同类型饲用玉米品种干物质的积累与运转规律研究[J]. 玉米科学，2005，13(4)：66-69.
Ma G S，Xue J Q，Lu H D. Laws of dry matter accumulation and transfer in different types of silage maize[J]. J. Maize Sci.，2005，13(4)：66-69.

[13] 吴迪，黄绍文，金继运. 氮肥运筹、配施有机肥和坐水种对春玉米产量与养分吸收转运的影响[J]. 植物营养与肥料学报，2009，15(2)：317-326.
Wu D，Huang S W，Jin J Y. Effects of nitrogen fertilizer management，organic manure application and bed irrigation sowing on maize yield，and nutrient uptake and translocation[J]. Plant Nutr. Fert. Sci.，2009，15(2)：317-326.

[14] 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.
Yi Z X，Wang P，Shen L X *et al*. Effects of different types of nitrogen fertilizer on nitrogen accumulation，translocation and nitrogen fertilizer utilization in summer maize[J]. Acta Agron. Sin.，2006，32(5)：772-778.

[15] 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]. 植物营养与肥料学报，2006，12(5)：622-627.
Zhao Y，Tong Y A，Zhao H B. Effects of different N rates on nutrients accumulation，transformation and yield of summer maize [J]. Plant. Nutr. Fert. Sci.，2006，12(5)：622-627.

[16] 吴春胜. 超高产玉米灌浆速率与干物质积累特性研究[J]. 吉林农业大学学报，2008，30(4)：382-385，400.
Wu C S. Studies on characteristics of grain filling and dry matter accumulation of super high-yield maize [J]. J. Jilin Agric. Univ.，2008，30(4)：382-385，400.

[17] 杨恒山，高聚林，张玉芹，等. 超高产春玉米氮磷钾养分吸收与利用的研究[J]. 干旱地区农业研究，2011，29(2)：15-20，39.
Yang H S，Gao J L，Zhang Y Q *et al*. Studies on absorption and use of N，P and K by spring maize under super-yield cultivation [J]. Agric. Res. Arid Areas，2011，29(2)：15-20，39.

[18] 曹国军，刘宁，李刚，等. 超高产春玉米氮磷钾的吸收与分配[J]. 水土保持学报，2008，22(2)：198-201.
Cao G J，Liu N，Li G *et al*. Study on absorption and distribution of nitrogen phosphorus and potassium in super-high yield spring maize[J]. J. Soil Water Conserv.，2008，22(2)：198-201.

[19] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京：中国农业出版社，2000. 257-270.
Bao S D. Soil and agro-chemistry analysis[M]. Beijing：China Agriculture Prees，2000. 257-270.

[20] 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.
Dai M H，Tao H B，Wang L N *et al*. Effects of different nitrogen managements on dry matter accumulation，partition and transportation of spring maize(*Zea mays* L.)[J]. Acta Agric. Boreali-Sin.，2008，23(1)：154-157.

[21] Mackown C T，van Sanford D A，Zhang N Y. Wheat vegetative nitrogen compositional changes in response to reduced reproductive sink strength[J]. Plant Physiol.，1992，99：1469-1474.

[22] 黄智鸿，王思远，包岩，等. 超高产玉米品种干物质积累与分配特点的研究[J]. 玉米科学，2007，15(3)：95-98.
Huang Z H，Wang S Y，Bao Y *et al*. Studies on dry matter accumulation and distributive characteristic in super high-yield maize [J]. J. Maize Sci.，2007，15(3)：95-98.

[23] 姚晓旭，于海秋，曹敏建. 氮、钾肥运筹对超高产玉米干物质积累和产量的影响[J]. 华北农学报，2009，24(增刊)：176-178.
Yao X X，Yu H Q，Cao M J *et al*. Effect of different nitrogen and potassium fertilizer operation on dry material accumulation and yield of super high-yield maize[J]. Acta Agric. Boreali-Sin.，2009，24(Supply)：176-178.

[24] 陈国平. 玉米的干物质生产与分配[J]. 玉米科学，1994，2(1)：48-53.
Chen G P. Dry matter produce and distribute of maize[J]. J. Maize Sci.，1994，2(1)：48-53.

[25] 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)：1-9.
Liu K L，Liu J H. A study on the regularity of accumulation，distribution and translation of dry matter in spring maize[J]. J. Inner Mongolia Inst. Agric. Anim. Husbandry，1994，15(1)：1-9.

[26] Cliquet J B. C and N mobilization from stalk and leaves during kernel filling by ^{13}C and ^{14}N tracing in zea maize[J]. Plant Physiol.，1990，94：1547-1553.

[27] 李潮海，刘奎，连艳鲜. 玉米碳氮代谢研究进展[J]. 河南农业大学学报，2000，34(4)：318-323.
Li C H，Liu K，Lian Y X. The recent progress of research on carbon and nitrogen metabolism in maize[J]. J. Henan Agric. Univ.，2000，34(4)：318-323.

[28] 李文娟，何萍，金继运. 钾素营养对玉米生育后期干物质和养分积累与转运的影响[J]. 植物营养与肥料学报，2009，15(4)：799-807.
Li W J，He P，Jin J Y. Potassium nutrition on dry matter and nutrients accumulation and translocation at reproductive stage of maize[J]. Plant. Nutr. Fert. Sci.，2009，15(4)：799-807.

[29] 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.
Jin J Y, He P. Effect of N and K nutrition on post metabolism of carbon and nitrogen and grain weight formation in maize[J]. Sci. Agric. Sin., 1999, 32(4): 55-62.

[30] 朱根海, 张荣铣. 叶片含氮量与光合作用[J]. 植物生理学通讯, 1985, (2): 9-12.
Zhu G H, Zhang R X. Leaf nitrogen content and photosynthesis [J]. Plant Physiol. Comm., 1985, (2): 9-12.

[31] 文汉, 聂凡. 干旱对水稻抽穗后旗叶衰老和产量构成因子的影响[J]. 安徽农业大学学报, 2000, 27(2): 135-137.
Wen H, Nie F. Effects of drought on senescence of flag leaf and yield factors in rice[J]. J. Anhui Agric. Univ., 2000, 27(2): 135-137.

[32] 于振华, 张炜, 岳寿松, 等. 钾营养对冬小麦光合作用和衰老的影响[J]. 作物学报, 1996, 22(3): 305-312.
Yu Z H, Zhang W, Yue S S *et al*. Effect of potassium on photosynthesis and senescence in winter wheat[J]. Acta Agron. Sin., 1996, 22(3): 305-312.

[33] 戴明宏, 赵久然, 杨国航, 等. 不同生态区和不同品种玉米的源库关系及碳氮代谢[J]. 中国农业科学, 2011, 44(8): 1585-1595.
Dai H M, Zhao J R, Yang G H *et al*. Source-Sink relationship and carbon-nitrogen metabolism of maize in different ecological regions and varieties[J]. Sci. Agric. Sin., 2011, 44(8): 1585-1595.

[34] 王宜伦, 李潮海, 何萍, 等. 超高产夏玉米养分限制因子及养分吸收积累规律研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2010, 16(3): 559-566.
Wang Y L, Li C H, He P *et al*. Nutrient restrictive factors and accumulation of super-high-yield summer maize[J]. Plant. Nutr. Fert. Sci., 2010, 16(3): 559-566.