

不同氮效率玉米品种穗三叶生理特性研究

陈静¹, 马钦², 鲁富宽^{1*}, 秦德志¹, 王利平¹

(1. 内蒙古农业大学, 呼和浩特 014109; 2. 呼和浩特市科技成果推广中心, 呼和浩特 010020)

摘要: 试验以氮高效和氮低效玉米品种为材料, 应用裂区试验设计, 在高氮和低氮条件下, 研究氮高效玉米穗三叶的生理特性。结果表明, 氮高效玉米品种穗位叶无论在高氮还是低氮条件下均具有稳定的叶绿素 SPAD 值, 延长和稳定光合效率峰值持续期, 且穗三叶硝态氮含量及硝酸还原酶活性较氮低效品种具有优势。因此, 氮高效品种在高氮与低氮土壤环境下均具有一定的适应性, 且穗三叶具有较高的氮素积累利用能力, 能够有效促进氮效率的提高。

关键词: 玉米; 氮高效; 穗三叶; 生理特性

中图分类号: S513

文献标识码: A

文章编号: 2096-5877(2021)06-0006-05

Study on Physiological Characteristics of Maize Ear 3 Leaf with Different Nitrogen Efficiency

CHEN Jing¹, MA Qin², LU Fukuan^{1*}, QIN Dezhi¹, WANG Liping¹

(1. Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 014109; 2. Hohhot Scientific and Technological Achievements Promotion Center, Hohhot 010020, China)

Abstract: The physiological characteristics of ear 3 leaf of N-efficient maize were studied under the condition of high-N and low-N. The results showed that the ear leaf of N-efficient maize varieties had stable chlorophyll SPAD value under both high-N and low-N conditions, which extended and stabilized the duration of peak photosynthetic efficiency. The nitrate nitrogen content and nitrate reductase activity of ear 3 leaf were superior to those of the low efficiency cultivars. Therefore, N-efficient varieties have certain adaptability in high-N and low-N soil environment, and ear 3 leaf has higher nitrogen accumulation and utilization ability, which can effectively promote the improvement of nitrogen efficiency.

Key words: Maize; N-efficient; Ear 3 leaf; Physiological characteristics

氮高效玉米品种是降低氮肥投入条件下减产幅度较小的高产或超高产品种, 是高氮高产与耐低氮的协调统一^[1-2], 也是实现玉米高产高效生产的有效途径之一^[3]。生产能力不同的玉米群体氮效率也会表现显著差异, 高产群体的氮效率显著优于氮低效品种。筛选氮高效的玉米杂交种, 有利于氮肥减量投入, 维持粮食稳定, 发展节约高效、绿色友好型农业。关于玉米高产氮高效, 国内外学者已围绕地上部氮吸收与积累、分配与利用规律开展大量研究^[4-5], 并从玉米基因型、氮肥施用水平、施氮时期等角度对玉米群体的氮素吸收、转

运及氮肥利用特性等进行较多探讨^[6-9], 认为通过改进栽培技术、提升土壤肥力及配套技术的优化集成, 可同时实现春玉米的大面积高产与水肥增效协同提升^[10]。

光合作用是产量形成的基础, 叶片是光合作用的主要场所, 而玉米叶片中以穗三叶的作用最强大、最重要^[11], 同时穗三叶与其他性状之间相互影响, 相互制约。穗三叶通过光合作用积累干物质, 对玉米产量的形成具有重要作用。白永新等^[12]认为, 玉米穗三叶光合功能对籽粒产量形成的贡献占 70%, 玉米叶面积(尤其是穗三叶)的大小直接关系到叶片光合作用的强弱, 穗三叶叶面积与玉米单株穗重呈显著正相关。崔俊明等^[13]认为, 比叶重、叶片含氮量和叶肉厚度等性状是直接影响穗三叶光合效率的重要因素, 与玉米单株产量呈极显著正相关^[14-15], 穗位叶的光合速率与其叶绿素 SPAD 值呈正相关^[16]。玉米植株进入生

收稿日期: 2019-12-13

基金项目: 内蒙古自治区自然科学基金项目(2018MS03011)

作者简介: 陈静(1978-), 女, 讲师, 主要从事作物高产栽培研究。

通讯作者: 鲁富宽, 男, 硕士, 副教授, E-mail: lufukuan406@163.com

殖生长时期后,营养器官中储存的养分开始转移到籽粒中,与其他营养器官相比,叶片中氮素的转移效率最大,对籽粒氮素的贡献最大^[17-18],而且叶片的氮素转移量与氮素吸收能力、叶片的衰老速率有密切关系。叶片衰老是一个复杂的生理生化过程,形态上最显著的变化是叶片黄化,生理上表现为叶绿素降解加快,蛋白质含量显著下降,光合功能显著衰退。光合速率的降低会影响氮转移与氮分配的效率。以上研究均针对普通玉米群体,而现代农业生产中以高产氮高效协同提升为目标,低氮高效品种具有较高的光合效率和氮代谢活性,进一步促进了植株物质的积累和对氮素的吸收与转化,使氮利用效率逐步提高,不同施氮水平对氮效率不同的玉米品种光合效率具有显著的调控作用,对叶片叶绿素含量、净光合速率及叶绿素荧光特性等均有显著影响^[19]。张敏敏等^[20]研究发现,氮高效基因型在拔节期的 NR 活性、叶绿素含量和光合速率均高于氮低效型。而关于氮高效与氮低效玉米品种穗三叶的生理特性研究鲜见报道,本试验选择目前生产中常用的不同氮效率超高产玉米杂交种为材料,研究穗三叶硝态氮与铵态氮积累特性及光合生理特性,明确氮高效杂交种关键功能叶片穗三叶的生理特性,为氮高效品种选育提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 试验地概况

试验于2017年在内蒙古农业大学科技园区(土默特右旗萨拉齐镇)进行,土壤类型质地是沙壤土,前茬是玉米,土壤pH值为7.3,土壤有机质含量22.30 g/kg,碱解氮44.89 mg/kg,速效磷7.97 mg/kg,速效钾82.24 mg/kg。

1.2 试验材料

选择筛选出4个氮效率不同的超高产杂交

种^[21],氮高效品种郑单958(ZD958)、金山27(JS27);氮低效品种京单28(JD28)、内单314(ND314)。

1.3 试验设计

试验采用裂区设计,氮水平为主区,杂交种为副区,氮水平为低氮和高氮,施氮量分别为150 kg/hm²和300 kg/hm²纯氮,4行区,行长6 m,密度均为82500株/hm²,行距50 cm,株距24 cm,3次重复。P₂O₅105 kg/hm²和K₂O 45 kg/hm²做种肥,一次性侧深施。氮肥追施在拔节期、大喇叭口期,按3:7追施尿素,追肥后及时灌水,其他管理按照高产玉米田管理措施精细管理,生育期间共灌4次水。于2017年4月28日播种,5月10日出苗,9月25日收获。

1.4 测定指标与方法

叶绿素SPAD值采用日本产SPAD-502测定,定株测定穗位叶,每个小区定株测定10株同一部位的叶片,取平均值;光合速率利用红外线CO₂气体分析仪定株测定;游离氨基酸总量采用茚三酮显色法测定;硝态氮采用水杨酸比色法测定;可溶性蛋白采用考马斯亮蓝法测定;硝酸还原酶(NR)活性采用活体法测定。数据采用DPS 7.05统计分析软件进行分析。

2 结果与分析

2.1 不同氮效率玉米穗三叶吐丝期光合特性

由表1可知,高低氮条件下不同氮效率玉米品种穗三叶的光合特性指标存在一定差异。高氮下光合速率均显著高于低氮。低氮下氮高效品种ZD958与JS27气孔导度(Gs)高,对蒸腾速率(Tr)与光合速率(Pn)具有调节作用,使蒸腾速率(Tr)与光合速率(Pn)均表现较高,但氮低效品种气孔导度(Gs)低,因此蒸腾速率(Tr)与光合速率(Pn)均低。氮高效品种ZD958与JS27具有较高的光合速率(Pn)和气孔导度(Gs),所以胞间CO₂浓度(Ci)低。

表1 不同氮效率玉米穗三叶吐丝期光合特性

氮水平	品种	蒸腾速率[g/(m ² ·h)]	气孔导度[mmol/(m ² ·s)]	胞间CO ₂ (μmol)	光合速率[μmol/(m ² ·s)]
低氮	JS27	4.53b	823b	301e	26.4d
	ZD958	4.86a	856a	315c	29.0c
	JD28	2.78f	771c	322b	23.5f
	ND314	3.23e	674f	342a	24.9e
高氮	JS27	4.18c	764c	298e	30.9b
	ZD958	4.21c	722d	307d	32.8a
	JD28	4.10d	688e	290f	30.2b
	ND314	4.17c	624g	313c	26.9d

注:同列小写字母不同表示差异显著(P<0.05),下同

氮肥施用量增加后,氮高效品种 JS27 与 ZD958 气孔导度比低氮条件下有所下降,但仍显著高于氮低效品种 JD28、ND314,在气孔导度调节下,氮高效品种 JS27 与 ZD958 的蒸腾速率较低,而光合速率(Pn)较高,显著高于氮低效品种 ND314,光合作用对胞间 CO₂ 的消耗使氮高效品种 JS27、ZD958 和氮低效品种 JD28、ND314 的胞间 CO₂ 浓度均不高。高效型杂交种具有较高的气孔导度,Pn 才可能较高。说明氮高效品种在高氮水平下仍能保持较高的光合速率,同时在低氮条件下也表现出较稳定的光合速率。因此,氮高效品种较氮低效品种更适于不同氮水平的土壤条件。

不同氮效率玉米品种穗位叶光合速率在吐丝期基本达到峰值,之后开始逐渐下降(图 1、图 2)。

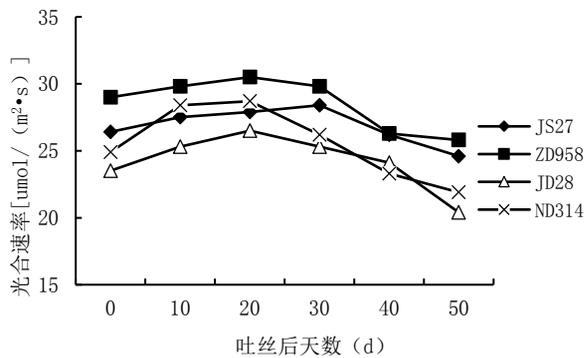


图 1 低氮下不同氮效率玉米吐丝后光合速率的变化

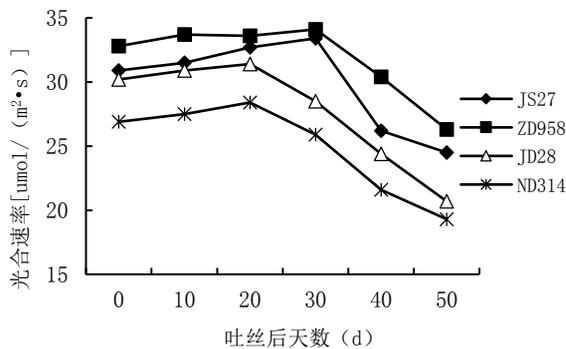


图 2 高氮下不同氮效率玉米吐丝后光合速率的变化

低氮下,氮高效品种穗位叶的光合速率从吐丝期到吐丝后 20 d 基本保持峰值不变,之后开始快速下降。氮低效品种从吐丝期到之后 20 d 仍表现缓慢增加,峰值持续时间较短,从吐丝后 20 d 开始快速下降,但下降速度快于氮高效品种,从吐丝后 20~50 d,每天平均以 0.20、0.23 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 的速度下降。高氮下,氮高效品种穗位叶的光合速率在吐丝期到吐丝后 30 d 保持不变,从吐丝后 30 d 开始快速下降,氮低效品种吐丝期开始到吐丝后

20 d 缓慢增加,峰值持续时间较短,之后开始下降,此时氮高效品种 JS27 和 ZD958 下降速度较快,平均每天以 0.45、0.39 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 的速度下降。

不论低氮还是高氮条件下,氮高效玉米光合速率峰值持续期较长,而氮低效玉米品种峰值持续期较短,之后开始迅速下降。SPAD-502 叶绿素仪可无损检测植物叶片叶绿素的相对含量,SPAD 值与叶片中的叶绿素含量呈正相关^[20],因此叶片 SPAD 值在作物全氮含量的预测方面是非常适用的^[21-23]。

由表 2 可知,高低氮条件下不同氮效率玉米品种穗三叶的叶绿素 SPAD 值存在一定差异,高氮下,大口期和吐丝期 4 个品种及灌浆期氮低效品种表现均为:高氮下穗三叶叶绿素 SPAD 值显著高于低氮条件,灌浆期两个氮水平的同一氮高效品种的穗三叶叶绿素 SPAD 值较接近,相互差异不显著。各品种叶绿素 SPAD 值峰值出现在吐丝期,之后开始下降。两个氮水平下,氮高效品种的同期叶绿素 SPAD 值不一定高于氮低效品种,但氮高效品种从峰值下降速度略缓于氮低效品种,低氮下,氮高效品种 JS27、ZD958 下降 1.25、4.65 个 SPAD 值,而氮低效品种 JD28、ND314 下降 5.17、7.10 个 SPAD 值。氮高效品种从高氮条件转移到低氮条件穗三叶叶绿素 SPAD 值峰值变化幅度较小,JS27、ZD958 下降 1.00、0.65 个 SPAD 值,JD28、ND314 下降 3.48、4.45 个 SPAD 值,说明氮高效品种无论处于高氮还是低氮条件穗三叶叶绿素 SPAD 值均较稳定,表现缓慢下降,氮高效型品种吸收的较多氮素稳定叶绿素 SPAD 值,即稳定和延缓叶绿素的衰老,延长玉米叶片的光合功能期,使高效型品种具有较强的适应能力,随供氮量的增加,高效型品种在适宜的氮素水平下能够更好地进行光合作用。

表 2 不同氮效率玉米穗三叶的叶绿素 SPAD 值

氮水平	品种	大口期	吐丝期	灌浆期	吐丝到灌浆期变化量
低氮	JS27	51.05d	60.50c	59.25a	1.25
	ZD958	50.95de	56.40e	51.75c	4.65
	JD28	50.55e	50.02g	44.85e	5.17
	ND314	50.35e	60.65c	53.55b	7.10
高氮	JS27	57.10a	61.50b	58.80a	2.70
	ZD958	53.40c	57.05d	51.80c	5.25
	JD28	54.35b	53.50f	48.30d	5.20
	ND314	54.95b	65.10a	59.95a	5.15

2.2 不同氮效率玉米的硝态氮积累特性

土壤中可被植物吸收的氮素形态主要是硝态

氮(NO_3^--N)和铵态氮(NH_4^+-N)。有机态氮一般先被微生物利用,在微生物的矿化作用下形成无机态氮。通过植物的根系,土壤中的氮素被吸收。被吸收的氮素在植物体内经过同化形成氨基酸(Aa)。氨基酸通过木质部被转运到不同的器官中。在营养生长期,根、茎、叶片等营养器官是利用氮素的库。进入生殖生长期后,营养器官开始衰老,其中的氮素成为籽粒中氮素的主要来源。

由表3可见,不论高效型还是低效型品种无机氮均以硝态氮为主,不论高氮还是低氮条件,无机氮仍以硝态氮为主,硝态氮浓度高于氨基酸。高氮下,高效型JS27、ZD958的硝态氮含量显著高于JD28、ND314,JS27、ZD958、JD28、ND314硝态氮占无机氮

总量的73.68%、86.60%、65.69%、88.70%。低氮下,高效型品种硝态氮高于低效型,JS27、ZD958的硝态氮含量显著高于JD28、ND314,4个品种的硝态氮占无机氮总量的比例为82.07%、85.98%、58.25%、73.95%,氮低效品种的硝态氮浓度低于氮高效品种,说明氮高效品种即使处于低氮条件下,对氮素的吸收积累能力明显强于氮低效品种。因此,氮高效品种的氮素吸收积累能力具有明显优势。高效型玉米品种的硝态氮含量、氨基酸与硝态氮总量之和均显著高于低效型品种,这可能与高效型根系吸收能力强有关,吸收的氮素多,氨基酸与硝态氮总量高,硝酸还原酶(NR)活性强,氮代谢活跃,使高效型品种的氨基酸与硝态氮总量显著高于低效型。

表3 高低氮下不同氮效率玉米穗三叶硝态氮和氨基酸浓度

$\mu\text{g}/\text{mL}$

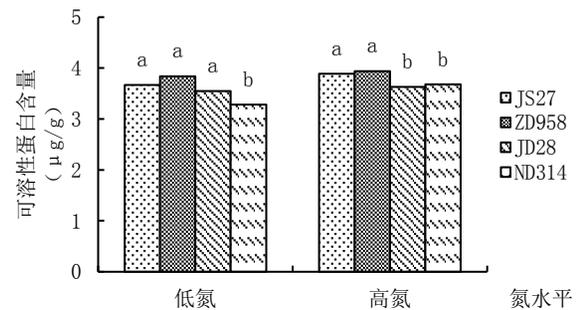
氮水平	杂交种	硝态氮	氨基酸	氮水平	杂交种	硝态氮	氨基酸
高氮	JS27	0.056a	0.021a	低氮	JS27	0.076a	0.017a
	ZD958	0.126a	0.020a		ZD958	0.046a	0.008a
	JD28	0.045b	0.024a		JD28	0.030b	0.022a
	ND314	0.049b	0.007b		ND314	0.044b	0.016a

2.3 不同氮效率玉米的可溶性蛋白与硝酸还原酶特性

氮的高效利用需要植物具有较强的氮同化能力与氮同化物转运能力,硝态氮是植物吸收氮的主要形式,硝酸还原酶(NR)和亚硝酸还原酶(NiR)是将硝态氮转化成铵态氮的关键酶。其活性强弱与植物对氮的利用能力密切相关,对植物生长发育、产量形成和植物产品的品质都有重要影响,因此它们活性水平的高低,一方面表征植物体本身对硝态氮吸收同化能力的强弱,另一方面也可以表征植物体的营养生长水平。不同玉米品种叶片NR活性大都表现为随施氮量的增加而升高。在同一供氮水平下,不同品种间NR活性的差异较明显,因此可将NR活性作为衡量氮营养效率高低的一个指标^[24]。

由图3可见,低氮下ZD958穗三叶可溶性蛋白含量最高,较低效型JD28、ND314分别高8.17%、17.07%。施氮量增加后,4个品种的可溶性蛋白含量均有所增加,但仍是ZD958最高,且与氮低效品种差异显著,较低效型JD28、ND314分别高8.54%、7.07%。高效型品种穗三叶可溶性蛋白含量较高,这与其NR活性高,大量 NO_3^--N 、Aa经还原同化作用转化为蛋白质息息相关。

由图4可见,低氮下JS27、ZD958的穗三叶NR活性较高,与ND314差异不显著,但显著高于



注:小写字母不同表示差异显著($P < 0.05$),下同

图3 高低氮下不同氮效率玉米穗三叶可溶性蛋白含量

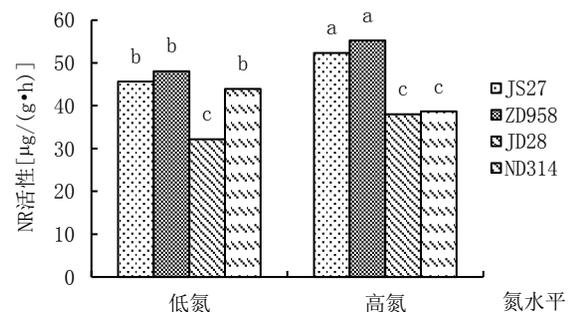


图4 高低氮下不同氮效率玉米穗三叶NR活性

JD28,比JD28分别高41.80%、49.41%。施氮量增加后,4个品种的NR活性均增强,JS27、ZD958较高,与JD28、ND314差异显著,分别比JD28高45.47%、45.26%,比ND314高35.34%、42.89%。说

明高效型品种穗三叶较高的硝酸还原酶活性,利于 NO_3^- -N、Aa的还原同化作用,对氮素具有较强的吸收及利用能力,有助于氮素的高效利用。施用氮肥后,吐丝期穗三叶的可溶性蛋白和硝酸还原酶活性均具有升高趋势,且硝酸还原酶活性增加显著,利于氮效率的提高。

2.4 不同氮效率产量表现

低氮下ZD958的产量最高,与JS27差异不显著,与氮低效品种差异显著,较JD28、ND314高6.34%、48.43%。施氮量增加后,JS27、ZD958产量增加,但与低氮下产量差异不显著,说明氮高效品种在低氮和高氮下产量较为稳定,而高氮下JS27、ZD958与JD28差异显著,分别比JD28高19.80%、22.56%(图5)。氮低效品种施氮量增加

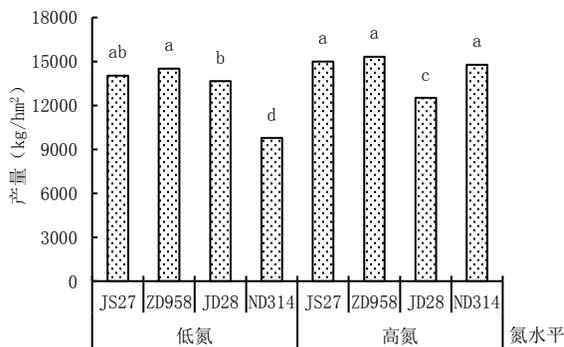


图5 不同氮水平下不同氮效率玉米产量

后,ND314产量增加显著,而JD28产量降低,同一氮低效品种氮水平间差异显著。说明氮高效品种不论在低氮还是高氮条件下,更具有稳产性。

3 讨论与结论

3.1 讨论

穗三叶的光合功能对玉米产量的形成和氮效率的提高尤为重要。田纪春等^[25]研究表明,玉米生长发育后期保证氮肥供应,功能叶光合速率达到最大值的时间可推迟1~5 d,光合速率峰值持续期延长1~2 d。曹鑫波^[26]研究认为,高氮处理下,穗位叶的光合速率从吐丝期到吐丝后30 d不下降,之后开始快速下降,低氮下穗位叶的光合速率从吐丝期到吐丝后20 d缓慢提升,之后开始快速下降。本研究表明,氮高效型品种吸收的较多氮素能够稳定叶绿素SPAD值,即稳定和延缓叶绿素的衰老,延长玉米叶片的光合功能期,使高效型品种具有较强的光合作用,随供氮量的增加,高效型品种在适宜的氮素水平下能够更好地发挥光合作用,保持较高的光合效率。氮高效品种在低氮和高氮水平下,穗三叶均能保持较高且

稳定的叶绿素SPAD值,使其保持较稳定的光合速率,且氮高效玉米光合速率峰值持续期较长,在20 d左右,而氮低效玉米品种峰值持续期较短,之后开始迅速下降。因此,氮高效品种较氮低效品种更适于不同氮水平的土壤条件。

不施氮肥时,光合速率、胞间 CO_2 浓度、穗三叶硝酸还原酶活性对氮效率的贡献较大。施用氮肥后,光合速率、穗三叶硝酸还原酶活性对氮效率的贡献较大^[27],随施氮量的增加,玉米穗位叶NR活性提高^[28]。本研究发现,不论高效型还是低效型品种叶片中无机氮类型均以硝态氮为主,不论高氮还是低氮条件,无机氮均以硝态氮为主,且高效型玉米品种的无机氮总量高于氮低效品种,高效型品种穗三叶具有较高的硝酸还原酶活性,而有利于硝态氮和氨基酸的还原及同化作用。因此,氮高效品种的氮素吸收利用能力具有明显优势。

3.2 结论

氮高效玉米品种穗位叶无论在高氮还是低氮条件下均具有稳定的叶绿素SPAD值,延长和稳定了光合效率峰值持续期,且穗三叶硝态氮含量及硝酸还原酶活性较氮低效品种具有优势,因此,氮高效品种在高氮与低氮土壤环境下均具有一定的适应性,且穗三叶具有较高的氮素积累利用能力,能够有效促进氮效率的提高。

参考文献:

- [1] 陈范骏,米国华,刘向生,等.玉米氮效率性状的配合力分析[J].中国农业科学,2003,36(2):134-139.
- [2] Presterl T, Groh S, Landbeck M, et al. Nitrogen uptake and utilization efficiency of European maize hybrids developed under conditions of low and high nitrogen input[J]. Plant Breed, 2002, 121: 480-486.
- [3] 翟立普,刘巍巍,曹国军.不同产量水平玉米氮素积累态势的研究[J].吉林农业科学,2011,36(2):26-29.
- [4] 张经廷,刘云鹏,李旭辉,等.夏玉米各器官氮素积累与分配动态及其对氮肥的响应[J].作物学报,2013,39(3):506-514.
- [5] 蔡红光,张秀芝,任军,等.不同玉米品种氮素积累量及转移的基因型差异[J].玉米科学,2011,19(6):49-52.
- [6] 徐祥玉,张敏敏,李生秀,等.夏玉米氮效率基因型差异研究[J].植物营养与肥料学报,2006,12(4):495-499.
- [7] Pollmer W G, Eberhard D, Klein D, et al. Genetic control of nitrogen uptake and translocation in maize[J]. Agron J, 2002, 94: 153-171.
- [8] 吕鹏,张吉旺,刘伟,等.施氮量对超高产夏玉米产量及氮素吸收利用的影响[J].植物营养与肥料学报,2011,17(4):852-860.
- [9] 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.

(下转第39页)

原茎产量最低,差异显著;中度盐碱胁迫下, V_2 比 V_1 和 V_3 分别减少4.34 t/hm²和0.74 t/hm²;综合分析结果表明, V_1 的抗盐碱性最强, V_2 最差, V_3 次之。

参考文献:

- [1] 刘飞虎. 工业大麻的基础与应用[M]. 北京: 科学出版社, 2015: 2.
- [2] Callaway, J C A. more reliable evaluation of hemp THC levels is necessary and possible[J]. *J Ind Hemp*, 2008, 13: 117-144.
- [3] 杨 阳, 张云云, 苏文君, 等. 工业大麻纤维特性与开发利用[J]. *中国麻业科学*, 2012, 34(5): 237-240.
- [4] 杜光辉, 邓 纲, 杨 阳, 等. 大麻籽的营养成分、保健功能及食品开发[J]. *云南大学学报(自然科学版)*, 2017, 39(4): 712-718.
- [5] 张建春. 汉麻种植与初加工技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2009: 10-24.
- [6] 宋 丹. 几个引进树种幼苗耐盐特性及耐盐性评价研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2006.
- [7] 刘 功, 李 锐, 王连敏, 等. 浅谈黑龙江省盐碱地利用[J]. *黑龙江农业科学*, 2007(2): 108-109.
- [8] 孙福来, 王绪芬, 张秀慧. 高效环保型经济作物工业大麻及栽培技术[J]. *中国种业*, 2004(10): 49-50.
- [9] 唐慧娟, 臧巩固, 程超华, 等. 工业大麻产量和品质性状的对应分析[J]. *作物杂志*, 2018(2): 52-55.
- [10] 于立河, 李佐同, 郑桂平. 作物栽培学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2010: 18-28.
- [11] 张 磊, 侯云鹏, 王立春. 盐碱胁迫对植物的影响及提高植物耐盐碱性的方法[J]. *东北农业科学*, 2018, 43(4): 11-16.
- [12] Yan S P, Tang Z C, Su W A, et al. Proteomic analysis of salt stress-responsive proteins in rice root[J]. *Proteomics*, 2005, 5: 235-244.
- [13] 程 霞, 苏 源, 窦玉敏, 等. 盐胁迫下工业大麻苗期生理生化特性的研究[J]. *昆明学院学报*, 2016, 38(6): 81-84.
- [14] 胡华冉. 盐碱胁迫对大麻种子萌芽和生长的影响[D]. 昆明: 云南大学, 2015.
- [15] 胡华冉, 刘 浩, 邓 纲, 等. 不同盐碱胁迫对大麻种子萌发和幼苗生长的影响[J]. *植物资源与环境学报*, 2015, 24(4): 61-68.

(责任编辑: 王 昱)

(上接第10页)

- [10] 闫孝贡, 刘剑钊, 张洪喜, 等. 吉林省春玉米大面积增产与资源增效限制因素评估[J]. *吉林农业科学*, 2012, 37(6): 9-11, 24.
- [11] 陈 岭, 崔绍平, 孙耀邦. 玉米穗部性状的基因效应分析[J]. *华北农学报*, 1996, 11(2): 28-32.
- [12] 白永新, 王早荣, 陈宝国, 等. 玉米杂交种棒三叶特征及其叶面积与单株穗重、粒重的相关性研究[J]. *华北农学报*, 2000, 15(2): 33-36.
- [13] 崔俊明, 张进忠, 卢道文, 等. 玉米棒三叶光合性状的相关性研究[J]. *华北农学报*, 1997, 12(4): 73-77.
- [14] 陈永欣, 翟广谦, 李彦良, 等. 糯玉米自交系、杂交种棒三叶与产量之间相关性分析[J]. *玉米科学*, 2001, 9(2): 50-52.
- [15] 刘家友, 董加璞. 玉米叶向值、叶面积与产量的关系及遗传力分析[J]. *河南农业科学*, 1996(10): 7-9.
- [16] 许东恒, 石玉海, 孙 宁. 氮肥运筹对玉米叶片光合速率、比叶重和SPAD值的影响[J]. *玉米科学*, 2010, 18(6): 102-106, 110.
- [17] Chen Y, Xiao C, Chen X, et al. Characterization of the plant traits contributed to high grain yield and high grain nitrogen concentration in maize[J]. *Field Crops Research*, 2014, 159(6): 1-9.
- [18] Chen Y, Xiao C, Wu D, et al. Effects of nitrogen application rate on grain yield and grain nitrogen concentration in two maize hybrids with contrasting nitrogen remobilization efficiency[J]. *European Journal of Agronomy*, 2015, 62: 79-89.
- [19] 孙年喜, 宗学风, 王兰根. 不同供氮水平对玉米光合特性的影响[J]. *西南农业大学学报(自然科学版)*, 2005, 27(3): 389-392.
- [20] 张敏敏, 翟丙年, 宋 翔, 等. 冬小麦不同基因型氮素利用效率的差异及机理分析[J]. *中国农学通报*, 2007(8): 245-249.
- [21] 贾良良, 陈新平. 作物氮营养诊断的无损测试技术[J]. *世界农业*, 2001(6): 36-37.
- [22] 王帘里. 不同气候和土壤条件下玉米叶片叶绿素相对含量对土壤氮素供应和玉米产量的预测[J]. *植物营养与肥料学报*, 2009, 15(2): 327-335.
- [23] 郑 强, 王志敏, 蔡永旺, 等. 夏玉米叶片叶绿素含量的时空动态及其与植物含氮率关系的研究[J]. *玉米科学*, 2008, 16(6): 75-78.
- [24] 董 玥. 不同氮效率基因型茄子光合特性及氮代谢相关酶活性的差异[D]. 保定: 河北农业大学, 2009.
- [25] 田纪春, 陈建省, 王延训, 等. 氮素追肥后移对小麦籽粒产量和旗叶光合特征的影响[J]. *中国农业科学*, 2001, 34(1): 1-4.
- [26] 曹鑫波. 玉米不同氮效率品种筛选及其光合特性和氮代谢差异的研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2017.
- [27] 崔文芳, 高聚林, 屈佳伟, 等. 氮高效玉米杂交种穗三叶氮积累及生理特性对氮效率的贡献[J]. *玉米科学*, 2015, 23(5): 75-82.
- [28] 张智猛, 戴良香, 胡昌浩, 等. 氮素对不同类型玉米蛋白质及其组分和相关酶活性的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2005, 11(3): 320-326.

(责任编辑: 王 昱)