文章编号：1005-0906(2020)05-0067-10 DOI: 10.13597/j.cnki.maize.science.20200511

东北地区玉米氮高效品种筛选及产量组成因素分析

胡聪慧[1],石文君[1],李 梁[2],沙 野[1],钱春荣[2],齐 华[3],米国华[1]

(1.中国农业大学资源与环境学院,北京 100193; 2.黑龙江农业科学院耕作栽培研究所,哈尔滨 150086;
3.沈阳农业大学农学院,沈阳 110161)

摘 要：为了筛选适宜农民种植的高产、养分高效玉米品种,提高东北地区的氮肥利用率,在吉林梨树、辽宁铁岭和黑龙江哈尔滨设置高氮与低氮两个氮水平,各选择20个玉米品种,通过两年定位的田间试验,对其产量及其组成因素进行分析。结果表明,在吉林梨树县地区,良玉918和德美1号两年均表现为双高效品种,先玉335和迪锋128均表现为高氮高效型品种。在辽宁铁岭地区双高效品种有宏硕899、锦华299、沈玉21和迪卡159,先玉335表现为高氮高效品种。在黑龙江哈尔滨,京科728、天农9、誉成1、先玉335为双高效品种,高氮高效品种是德育919和益农玉10。与所有供试品种的平均值相比,两年3个地点平均,双高效品种在正常施氮、低氮条件下分别增产12.8%和16.2%。高氮高效型品种在正常施氮条件下的增产率为6.4%。两个氮水平下,双高效品种具有较多的穗数和穗粒数,高氮高效品种仅在高氮水平下具有较多的穗粒数,低氮高效品种仅在低氮水平下具有较高的穗粒数。

关键词：玉米;高产;氮高效;品种筛选

中图分类号：S513.037 **文献标识码**：A

Screening for Nitrogen-efficient Maize Cultivars Used in Northeast China and Analysis of Yield Components

HU Cong-hui[1], SHI Wen-jun[1], LI Liang[2], SHA Ye[1], QIAN Chun-rong[2], QI Hua[3], MI Guo-hua[1]

(1. *College of Resources and Environment, China Agricultural University,Beijing* 100193;
2. *Institute of Cultivation and Cultivation, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin* 150086;
3. *Agricultural College, Shenyang Agricultural University, Shenyang* 110161, China)

Abstract: In order to get high-yield, nitrogen-efficient maize cultivars so as to improve nitrogen use efficiency in Northeast China, a two-years experiment in three locations and two nitrogen application levels were conducted in Lishu of Jilin province, Tieling of Liaoning province and Harbin of Heilongjiang province in 2017 and 2018. Twenty maize cultivars were used in each of the three experimental sites each year, and their yield and yield components were analyzed. The results showed that, in Lishu, Liangyu918 and Demei 1 were double-efficient cultivars which showed high yield under both low and high nitrogen input in both years. Xianyu335 and Difeng 128 were high-yielding cultivars which got high yield only at high nitrogen input. In Tieling, double-efficient cultivars were Hongshuo899, Jinhua299, Shenyu 21 and Dika159. Xianyu335 was a high- yielding cultivar. In Harbin, Jingke728, Tiannong 9, Yucheng 1, Xianyu335 were double-efficient cultivars, and Deyu919 and Yinongyu 10 were high-yielding cultivars. Compared to the average yield level of all the tested cultivars, across the three locations, the use of double-efficient increased maize yield by 12.8% and 16.2% under high and low nitrogen input, respectively. The high-yielding cultivars increased maize yield by 6.4% under high nitrogen input. The double- efficient cultivars had more grains per ear. High-nitrogen efficient cultivars had more ears per area and grain numbers per ear only under high nitrogen input. Under low-nitrogen levels, low-nitrogen efficient cultivars had more grain numbers per ear only under low-nitrogen supply.

Key words: Maize; High yield; Nitrogen efficiency; Cultivar screening

录用日期：2019-07-01

基金项目：国家重点研发计划“北方玉米化肥农药减施技术集成研究与示范”(2017YFD0201801)

作者简介：胡聪慧(1996-),女,河北唐山人,在读硕士,从事玉米品种筛选及氮效率评价方面的研究。E-mail:hu_cong_hui@126.com
石文君为本文共同第一作者。E-mail:shiwenjun727@163.com
米国华为本文通讯作者。E-mail:miguohua@cau.edu.cn

中国作为世界第二大玉米生产国，玉米产量大约占我国粮食总产的20%[1]。从20世纪60年代以来，我国玉米产量不断增加[2]。东北地区作为我国重要的粮食主产区和商品粮基地[3]，2016年，东北地区玉米总产量达到9 565.84万t，占全国45%左右[4]。粮食产量不断增加的同时也出现肥料不合理施用现象。中国统计年鉴调查结果显示，东北三省的肥料施用量从1979年的102万t增加至2015年的638.6万t。我国氮肥的当季利用率仅为30%～35%，损失率高达45%～50%[5]，过量施用氮肥不仅造成资源的浪费，导致农业生产成本的增加，影响农作物产品的品质，氮肥从土壤中大量流失，也会造成土壤肥力下降，加剧水体富营养化过程，威胁环境安全[6～8]。因此，如何提高氮肥利用率，充分发挥肥料的作用，对中国农业可持续发展具有重要意义[9]。

选用氮高效玉米品种是同步提高玉米产量和氮肥利用效率的重要途径之一[10,11]。目前玉米品种繁多，根据东北地区的环境情况选择适宜的高产氮高效品种，对于大面积提高玉米氮肥利用效率，具有重要应用价值。Moll[12]将玉米氮效率定义为单位施氮量下的作物产量。目前对于氮效率评价的方式主要有两种[13]，一是在同一氮水平下比较产量的高低来评价氮效率的高低；二是在不同氮水平下对产量进行比较。张慧等[14]对黄淮海地区30个夏玉米品种进行聚类分析，发现高产氮高效型夏玉米品种的氮素和干物质向子粒分配比例较高，氮转移量、转移效率、贡献率高。李强[15]对西南地区不同氮效率品种进行2年定点试验，发现氮高效品种在低氮或无氮情况下具有更强的氮素吸收、同化能力。关于东北地区氮高效品种评价，王晓慧等[16]在同一氮水平下对东北地区主推的37个玉米品种进行研究，发现高产氮高效品种在成熟期具有较高的粒重和较低的植株含氮量。陈范骏等[17]在不同氮水平下对东华北部分地区主推品种进行氮效率评价，发现郑单958和先玉335为高产氮高效品种，具有增产8%～10%、节氮16%～21%的潜力。魏湜等[18]在不同氮水平下对黑龙江省24个玉米基因型进行聚类分析，发现低氮高效型玉米含氮量、氮吸收利用效率、氮素干物质利用效率均高于其他品种。崔文芳等[19]在不同氮水平下对27个玉米自交系氮素生产效率进行研究，发现高产氮高效型生育后期根系吸收能力强，子粒氮素利用效率高，施氮肥后生育后期氮积累能力增强。

为进一步了解近些年推广玉米品种的氮素利用效率现状，分别在玉米主产区黑龙江哈尔滨、吉林梨树县、辽宁铁岭市设置试验，通过两年定点田间试验，筛选鉴定适宜农民种植的高产氮高效品种，分析不同氮效率类型品种的主要决定因素，为氮高效遗传改良提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

表1 各试验点土壤基础养分指标

Table 1 Soil basic nutrient index at each test point

地 点 Site	全氮(g/kg) Total N	速效磷(mg/kg) Available P	速效钾(mg/kg) Available K	有机质(g/kg) Organic matter	pH值 pH value
梨 树	0.93	31.36	82.65	8.250	5.85
铁 岭	1.20	25.70	79.00	15.700	6.36
哈尔滨	0.47	57.22	125.17	1.866	6.50

表2 各试验点参试品种

Table 2 Test varieties at each test point

地 点 Site	供试品种 Tested variety
吉林梨树	良玉918、良玉99、金庆202、先玉335、农华101、郑单958、粒收1号、德美1号、迪锋128、陕单650、农大239、豫单9953、京科968、陕单620、金山15、迪卡517、宏硕899、德美亚1号、富民58、德美亚3号
辽宁铁岭	辽单1211、丹玉311、辽单588、宏硕899、基研1号、泽玉8911、翔玉998、良玉199、宏途768、迪卡517、铁研919、锦华299、沈玉21、铁研123、郑单958、迪卡516、先玉335、铁研358、铁研388、迪卡159
黑龙江哈尔滨	德美亚1号、德育919、敦玉213、禾育187、吉单27、稷秾107、稷秾108、京农科728、京科968、绿单4、鹏玉2、绥玉23、天农9、先玉335、先玉696、先正达408、鑫鑫1、益农玉10、誉成1、郑单958

2017和2018年在吉林梨树、辽宁铁岭、黑龙江哈尔滨进行2年定点试验。试验起始前的土壤基础养分指标见表1。每个试验点每年各选择20个玉米品种(表2),进行氮高效品种比较试验。

1.2　试验设计

采用随机区组试验设计,20个供试玉米品种,每个品种3个重复(小区),小区面积48.3 m^2,种植密度为75 000株/hm^2。设置两个氮水平,高氮区施纯氮量为180 kg/hm^2,施用稳定性缓释掺混肥(28-12-12);低氮区为不施氮处理,仅施与高氮区相同量的磷、钾肥,磷钾肥分别用过磷酸钙(12%)和氯化钾(60%)。施肥方式为播种前肥料混匀后一次性均匀撒施在地表作基肥施入,旋耕混匀。两年小区固定,施肥处理相同。玉米播种时期为4月28至5月10日,收获时期为10月1至10日。播种方式为起垄人工播种,玉米播种后及时镇压并封闭除草,生育期内进行适时中耕除草管理。2018年春季大旱,梨树试验点进行灌溉,保证出苗,其他情况下均为雨养条件,适时喷洒农药防治病虫害。

1.3　分析方法

刘建安等人[20]将不同氮使用效率(NUE)品种划分为4种类型,双高效型(在高氮和低氮下产量都高,double-efficient)、耐低氮型(在低氮下高产,LN-efficient)、高氮高效型(在高氮下高产,HN-efficient)、双低效型(在高氮和低氮下产量都低,double-non-efficient)。本文按照该分类方法,利用供试品种在高氮和低氮下的产量平均值为分界线,将不同氮效率品种划分为上述4种类型,即双高效型(在高氮和低氮下产量均高于平均值)、低氮高效型(在低氮下产量高于平均值)、高氮高效型(在高氮下产量高于平均值)、双低效型(在高氮和低氮下产量均低于平均值),双高效型和高氮高效型统称为高产氮高效品种。

为了综合分析不同类型品种的产量构成因素特征,对两个氮水平下的不同品种的产量与产量构成因素分别求平均值,并以平均值为对照(100%),计算不同年份及不同试验点的各品种的相对产量、穗数、穗粒数及百粒重。利用相对值,综合分析两个氮水平下4种氮效率类型品种的产量与其产量构成因素之间的相互关系。

1.4　数据处理与分析

采用Microsoft Excel 2003 和SPSS17.0统计软件进行数据处理和统计分析。

2　结果与分析

2.1　高产氮高效品种鉴定

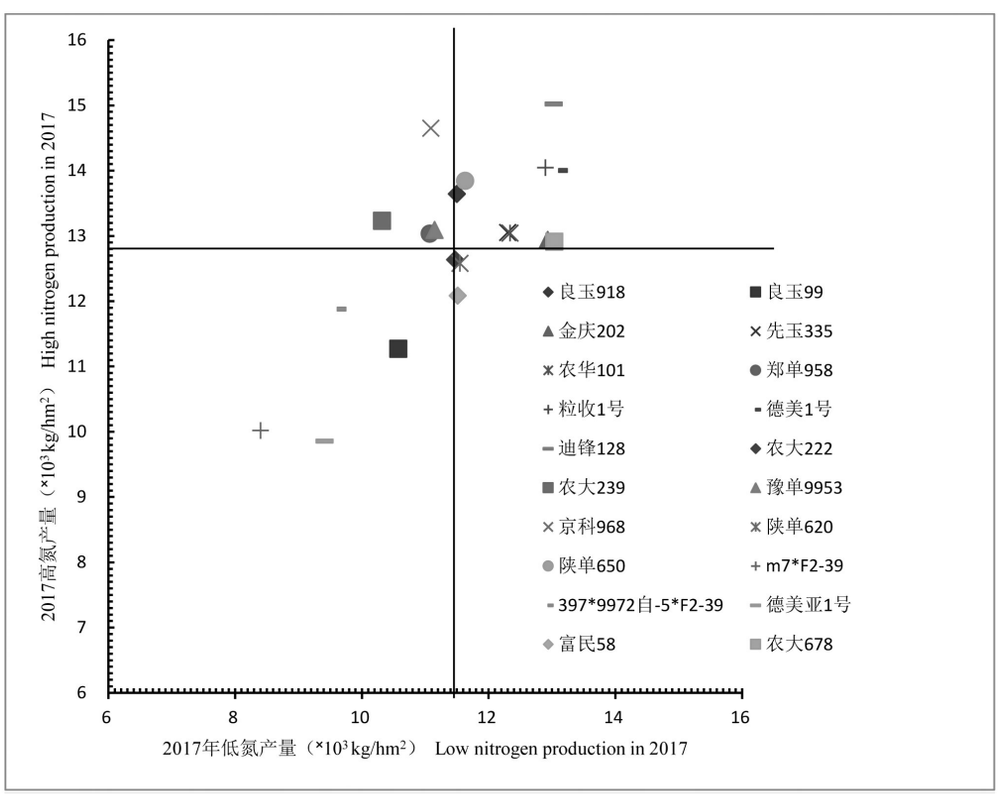

图1　2017年梨树试验地玉米产量

Fig.1　Maize yield in 2017 at Lishu

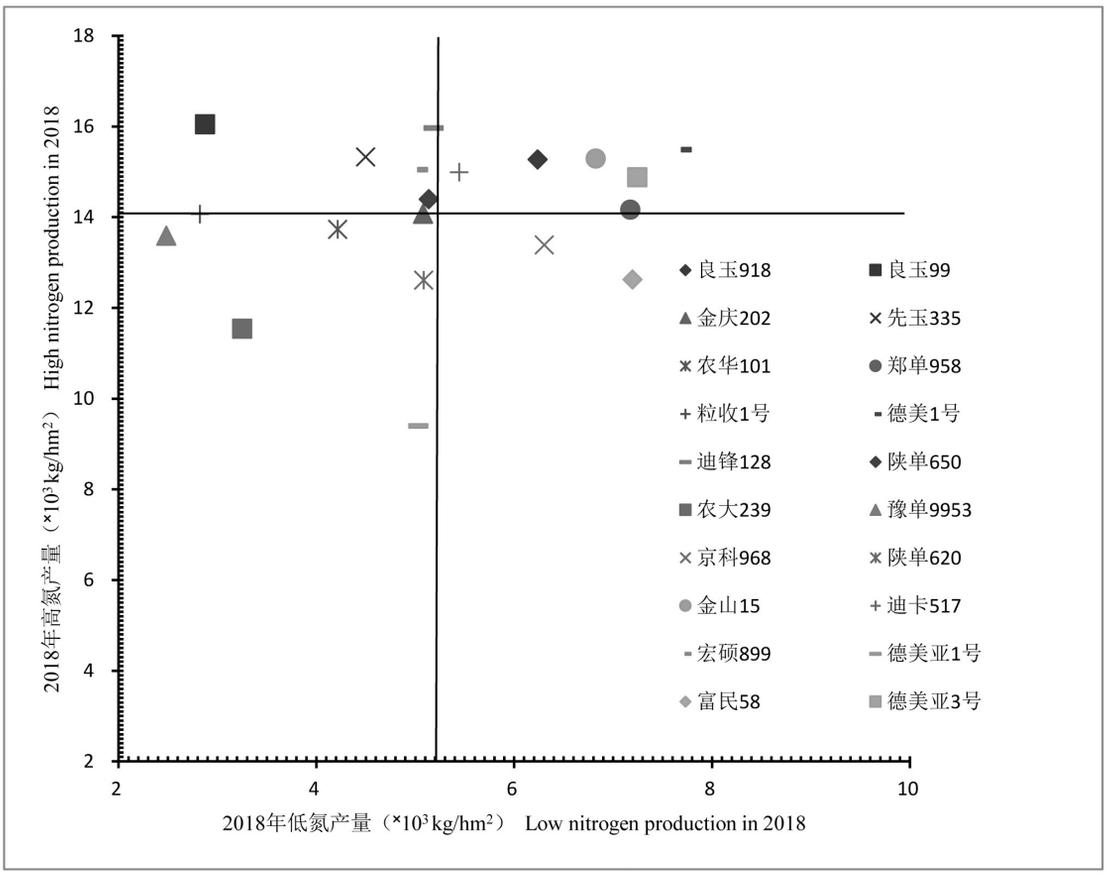

图2 2018年梨树试验地玉米产量

Fig.2 Maize yield in 2018 at Lishu

不同基因型玉米氮效率品种的产量分析见图1至图4。在梨树试验点，在高氮下两年的各品种平均产量相差不大，在低氮下，由于土壤氮素的消耗，2018年的平均产量相比2017年减少54.2%。在两年中，良玉918和德美1号均表现为双高效品种。由于品种的生态适应性差异，多数品种的氮效率类型在年际间表现不稳定，先玉335、农华101、金庆202、迪锋128、粒收1号仅在2017年表现为双高效型品种；郑单958、农大239、豫单9953和京科968仅在2018年表现为高氮高效型品种。与各品种的平均产量相比，2017年，双高效品种及高氮高效品种整体增产0.5%～17%，2018年增产0.5%～13.8%，平均值为5.2%和7.7%。

在铁岭试验点，各品种在两个氮水平下两年的平均产量相差较大，2017的平均产量显著高于2018年的平均产量，造成这种差异的原因可能是2018年在吐丝期遇到高温，雌穗授粉不能正常进行，从而导致大幅减产。宏硕899、锦华299、沈玉21和迪卡159等在两年试验中均为双高效型品种；宏途768、迪卡517、铁研919、郑单958、先玉335在2017年为高氮高效型品种，2018年高氮高效品种有泽玉8911、铁研919、迪卡516、先玉335。郑单958在2018年表现为双低效型品种，其空秆率较高，穗数和穗粒数均较低。双高效型和高氮高效型品种两年整体增产5.9%～6.8%、9.5%～53.3%，平均值为5.1%和20.5%。

在哈尔滨试验点，各品种在高氮下两年的平均产量相差不大，在低氮下，2018年平均相比2017年减少16%。京农科728、天农9、誉成1、先玉335等在两年试验中均为双高效型品种；德育919、益农玉10在两年试验中均为高氮高效型品种；郑单958在2017年为双高效品种，2018年为高氮高效品种，总体表现较稳定。由于哈尔滨地区纬度较高，受温度变化的影响，其余品种的氮效率在年际间表现不稳定。双高效型和高氮高效型品种两年整体增产0.6%～16.7%和1.8%～21.9%，平均值为5.2%和8.2%。

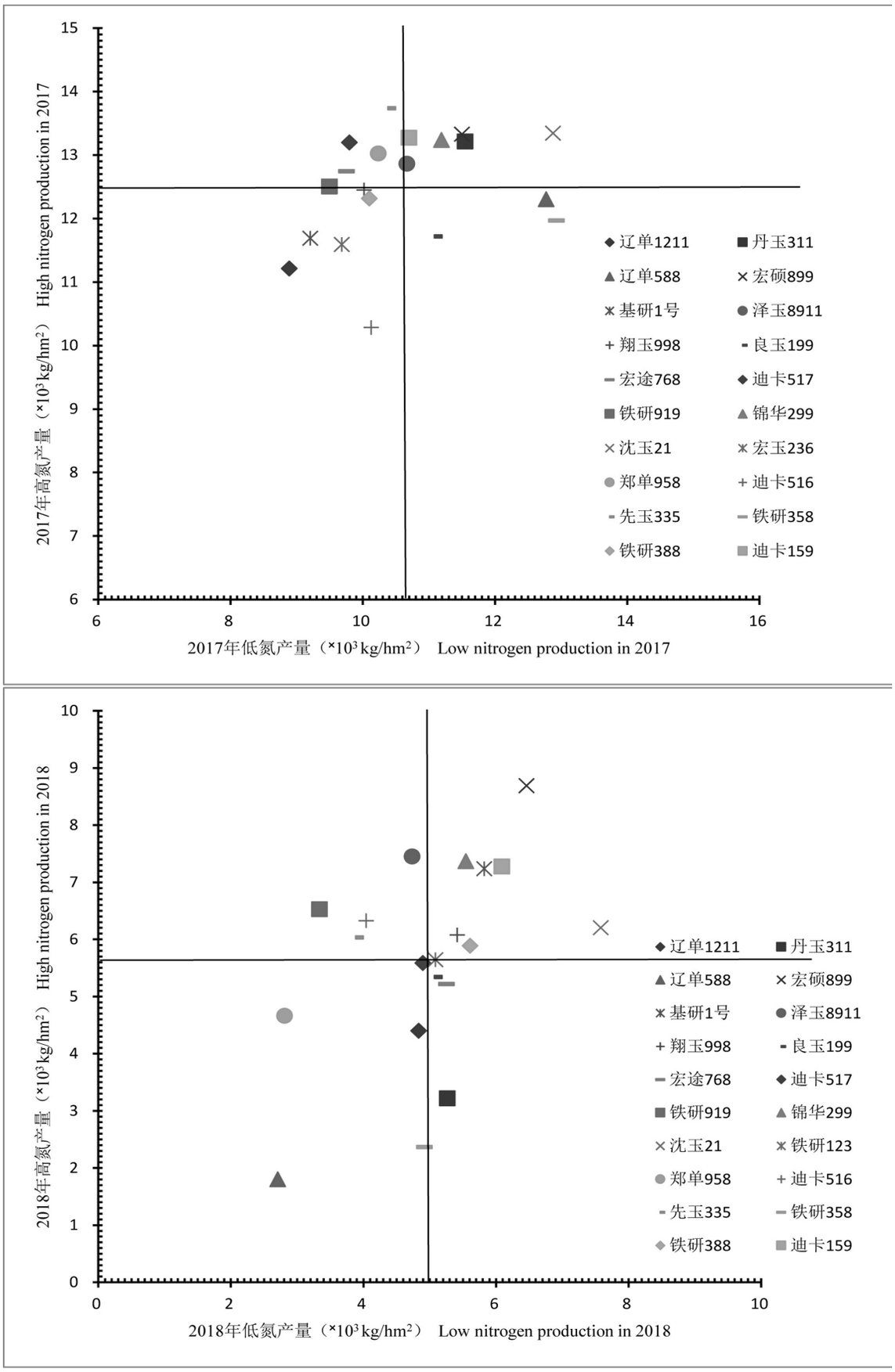

图3　铁岭试验地产量

Fig.3　Maize field in 2017 and 2018 at Tieling

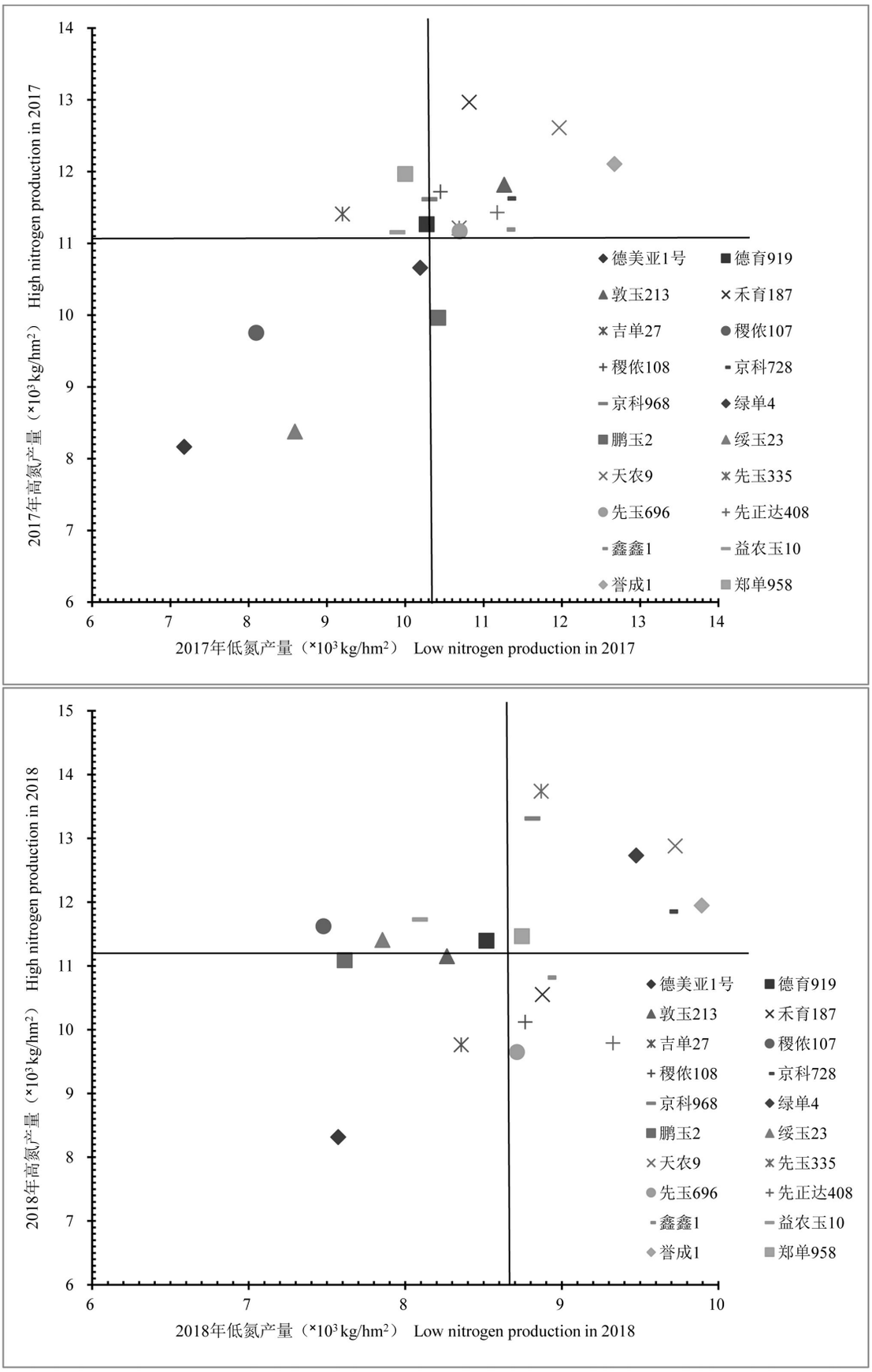

图4 哈尔滨试验地产量

Fig.4 Maize field in 2017 and 2018 at Harbin

2.2　氮效率与产量构成因素之间的关系

由图5可知,无论是高氮或低氮条件下,与双低效品种相比,双高效品种的穗数、穗粒数均较高,百粒重没有差异。在高氮水平下,高氮高效品种的穗粒数高于低氮高效品种和双低效品种,穗数和百粒重差异不显著。在低氮水平下,低氮高效品种比高氮高效品种和双低效品种具有较高的穗粒数,穗数和百粒重差异不显著。

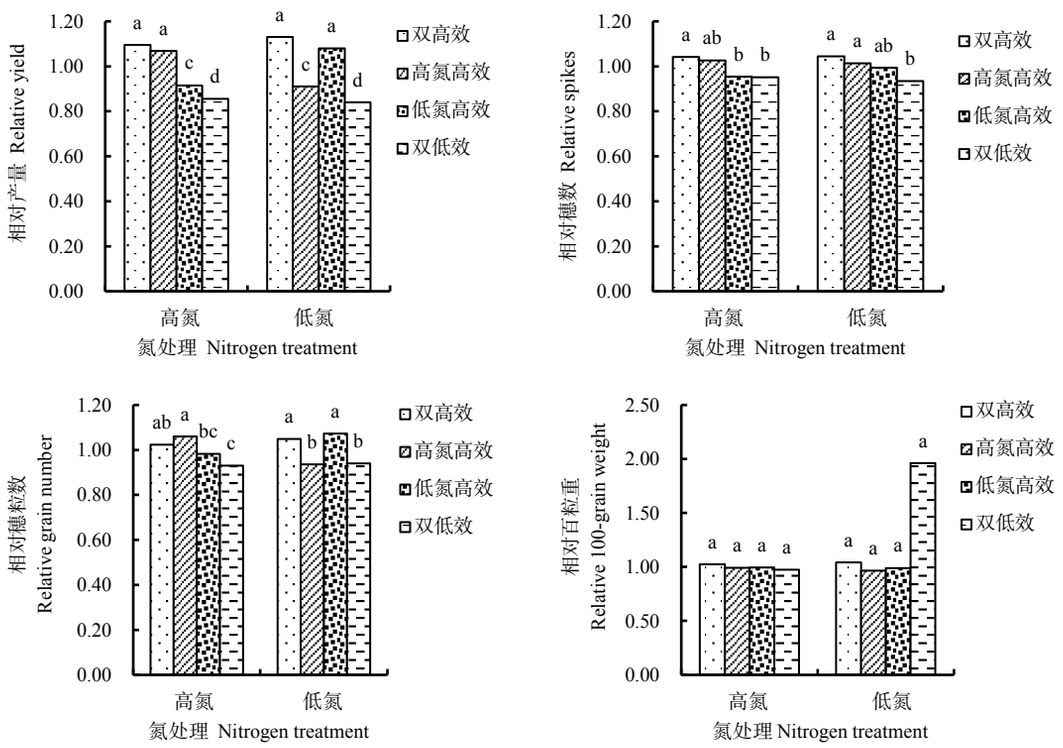

图5　不同氮效率类型品种的产量与产量构成因素

Fig.5　Yield and yield components of maize cultivars of different N-efficiency

2.3　同一品种在不同地区的氮效率分析

3个试验地共有品种是郑单958、先玉335,梨树和哈尔滨共有的品种是京科968和德美亚1号。在两年两点中,德美亚1号均表现为双低效品种。2017年,郑单958和先玉335在3个地区均为高产氮高效品种。2018年,先玉335在3个地区均为高产氮高效品种,郑单958在梨树和哈尔滨为双高效品种,在铁岭为双低效品种。京科968的氮效率表现差异较大,2017年在梨树和哈尔滨均为高氮高效品种,在2018年,京科968在哈尔滨为双高效品种,在梨树为低氮高效品种(表3)。

表3　东北三省玉米品种氮效率分类

Table 3　Classification of nitrogen efficiency of maize cultivars in Northeast China

年份 Year	品种类型 Classification	品种名称 Name of the cultivars		
		梨树 Lishu	铁岭 Tieling	哈尔滨 Harbin
2017	双高效	良玉918、先玉335、农华101、金庆202、迪锋128、粒收1号、德美1号、陕单650、农大678	丹玉311、宏硕899、锦华299、沈玉21、泽玉8911、迪卡159	敦玉213、禾育187、稷侬108、京农科728、天农9、先玉335、先玉696、先正达408、鑫鑫1、誉成1
	高氮高效	郑单958、农大239、豫单9953、京科968	宏途768、迪卡517、铁研919、郑单958、先玉335	德育919、吉单27、京科968、益农玉10、郑单958
	低氮高效	陕单620、富民58、农大222	辽单588、良玉199、铁研358	鹏玉2
	双低效	良玉99、德美亚1号、m7×F2-39、397×9972自-5×F2-39	翔玉998、铁研388、基研1号、辽单1211、迪卡516、宏玉236	绿单4、稷侬107、绥玉23、德美亚1号

续表3 Continued 3

年 份 Year	品种类型 Classification	品种名称 Name of the cultivars		
		梨树 Lishu	铁岭 Tieling	哈尔滨 Harbin
2018	双高效	良玉918、德美1号、郑单958、金山15、迪卡517、德美亚3号	宏硕899、基研1号、翔玉998、锦华299、沈玉21、迪卡159、铁研388	京农科728、绿单4、天农9、誉成1、郑单958、先玉335、京科968
	高氮高效	良玉99、先玉335、迪锋128、陕单650、宏硕899	泽玉8911、铁研919、迪卡516、先玉335	益农玉10、稷侬107、绥玉23、德育919
	低氮高效	京科968、富民58	丹玉311、宏途768、良玉199、铁研123	先正达408、先玉696、鑫鑫1、稷侬108、禾育187
	双低效	金庆202、农华101、粒收1号、农大239、豫单9953陕单620、德美亚1号	辽单1211、辽单588、郑单958、铁研358、迪卡517	鹏玉2、敦玉213、吉单27、德美亚1号

3 结论与讨论

3.1 高产氮高效品种及其生态适应性

提高氮效率的最终目标是较少的施氮量获得较高的作物产量[21]。要保持高产与氮高效的协同提高，主要有两个途径，一是在保持现有产量不变的前提下，减少氮肥投入；二是在施肥量一定的情况下，提高作物产量。侯志研等[22]通过对辽西地区高产玉米品种进行筛选，发现辽单565、郑单958、沈玉21、先玉335是适宜种植的高产品种。张崎峰[23]对黑龙江省黑河地区玉米品种进行筛选，认为德美亚1号是适宜各个积温带种植的高产品种。本研究进一步分析近些年来东北三省推广的主要品种，两年结果表明，梨树地区氮效率表现稳定的高产氮高效品种有良玉918、德美1号；在辽宁铁岭地区双高效品种有宏硕899、锦华299、沈玉21和迪卡159；哈尔滨地区有京农科728、天农9、誉成1、先玉335、德育919和益农玉10。

相关研究表明，在种植地区缺氮不严重的条件下，直接在正常供氮水平下选择高产品种，往往也可以提高低氮下的产量[24]。同一地区不同年份之间，气温和降雨特征不同；不同地区同一年份之间，土壤、气温及降雨特征均不同，每个品种对这些不同生态因子的适应型可能有很大差异，适应性差的品种氮效率会受到影响。本试验中，2017年各试验点总体气候比较正常，2018年各试验点出现不同程度的春季干旱(梨树试验点通过补充灌溉得以缓解)，辽宁铁岭试验点吐丝期遇到高温。由于不同品种的生态适应性差异，一些品种的氮效率在地区间和年际间表现不稳定。在2018年，迪卡517在梨树表现为双高效品种，在铁岭表现为双低效品种。不同年份之间也有类似现象，在哈尔滨，敦玉213在2017年表现为双高效品种，2018年表现为双低效品种。

3.2 高产氮高效品种的特征

在高产栽培条件下，王忠孝等[25]认为，决定产量的构成因素中，穗粒数>穗数>粒重。张胜等[26]对内蒙古地区产量超过12 t/hm^{2}的高产田块进行的产量构成因素分析表明，收获穗数对产量影响最大，其次是粒重和穗粒数。赵久然[27]等指出，对产量影响作用是单位面积穗数>穗粒数>粒重。李明等[28]研究表明，在产量(9 ~ 12)×10^3 kg/hm^{2}和(12 ~ 15)×10^3 kg/hm^{2}的水平上，穗粒数是左右产量的第一因素。氮素缺乏会显著影响穗的发育和穗粒数，Monneveux等[29]研究认为，低氮条件下的产量与穗粒数和单位面积穗数呈显著相关。在本研究中，所有品种的播种密度保持一致，综合两年3点的研究结果，发现在两个氮水平下，无论是高氮高效品种还是低氮高效品种，在相应的氮水平下，穗粒数均是决定产量的主导因素，也决定玉米氮高效的关键因素。

3.3 郑单958和先玉335氮效率比较

郑单958和先玉335是东北地区品种比较主要的参照品种。柯福来等[30]和郑洪兵等[31]研究均表明，不同施氮水平下先玉335产量均高于郑单958。焦宏业等[32]研究发现，一般中低产条件下郑单958产量大于先玉335，高产条件下先玉335产量大于郑单958。Chen等[33]研究发现，低氮供应条件下郑单958产量高于先玉335，高氮条件下相反。石磨[34]研究表明，高产栽培条件下郑单958和先玉335产量相近。总体上郑单958更加耐低氮，高氮下二者产量相近或者先玉335较高。本研究中，2017年，

先玉335和郑单958在不同地点两个氮水平下的产量相差不大。2018年,高氮水平下,先玉335在3个试验点的产量均高于郑单958;在低氮水平下,在铁岭和哈尔滨两个试验点的先玉335产量高于郑单958,在梨树试验点表现相反,原因可能是由于土壤氮素消耗过大,不足以维持其生长发育所需养分,导致先玉335在开花吐丝期成穗受到影响,成熟期穗数低,从而产量较低。综合分析,与郑单958相比,先玉335总体上表现出双高效或高氮高效的特点,在某些地区(吉林梨树)对低氮的适应能力不强。

参考文献:

[1] Ci X K, Li M S, Liang X L, et al. Genetic contribution to advance yield for maize hybrids released from 1970 to 2000 in China[J]. Crop Science,2011.51(1): 13-20.

[2] Chen F, Fang Z, Gao Q, et al. Evaluation of the yield and nitrogen use efficiency of the dominant maize hybrids grown in North and Northeast China[J]. Life Science, 2013, 56(6): 552-560.

[3] 李维岳 . 吉林玉米[M] . 长春:吉林科学技术出版社,2000 .

[4] 高　鸣,习银生 . 东北地区粮食政策联动机制构建[J] . 华南农业大学报,2018,17(4):20-28 .
Gao M, Xi Y S. Construction of linkage mechanism for food policy in Northeast China[J]. Journal of South China Agricultural University, 2018, 17(4): 20-28. (in Chinese)

[5] 朱兆良,文启孝 . 中国土壤氮素[M] . 南京:江苏科学技术出版社,1992 .

[6] Zhang F S, Chen X C, Peter V. An experiment for the world[J]. Nature, 2013, 497(7447): 33-35 .

[7] 胡晓霞,丁　洪,张玉树 . 菜地氮素循环及其环境效应研究进展[J] . 中国农学通报,2010,26(10):287-294 .
Hu X X, Ding H, Zhang Y S. Advances in the research of nitrogen cycle in vegetable fields and its environmental effects[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2010, 26(10): 287-294. (in Chinese)

[8] 黄国勤,王兴祥,钱海燕,等 . 施用化肥对农业生态环境的负面影响及对策[J] . 生态环境,2004,13(4):656-660 .
Huan. G Q, Wang X X, Qian H Y, et al. Negative impact of application of chemical fertilizers on agricultural ecological environment and countermeasures[J]. Ecological Environment, 2004, 13(4): 656-660. (in Chinese)

[9] 闫　湘,金继运,何　萍,等 . 提高肥料利用率技术研究进展[J] . 中国农业科学,2008,41(2):450-459 .
Yan X, Jin J Y, He P, et al. Research progress in improving fertilizer utilization technology[J]. Chinese Agricultural Sciences, 2008, 41(2): 450-459. (in Chinese)

[10] Ci X K , Li M S, Xu J. S. Trends of grain yield and plant traits in Chinese maize cultivars from the 1950s to 2000s[J]. Euphytica, 2012.185(3): 395-406.

[11] 米国华,陈范骏,张福锁 . 玉米杂交种氮效率基因型差异[J] . 植物营养与肥料学报,2002,8(3):276-281 .
Mi G H, Chen F J, Zhang F S. Genotype differences in nitrogen efficiency of maize hybrids[J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizer, 2002, 8(3): 276-281. (in Chinese)

[12] Moll R H, Kamprath E J, Jackson W A. Analysis and interpretation of factors which contribute to efficiency of nitrogen utilization[J]. Agron.J., 1982, 74(3): 562-564.

[13] 廖　红,严小龙 . 高级植物营养学[M] . 北京:科学出版社,2003 .

[14] 张　慧,赵红香,温立玉,等 . 黄淮海区域30个夏玉米品种干物质积累和氮素转运特性[J] . 玉米科学,2016,24(3):78-84 .
Zhang H, Zhao H X, Wen L Y, et al. Dry matter accumulation and nitrogen transport characteristics of 30 summer maize varieties in the Huang-Huai-Hai region[J]. Journal of Maize Sciences, 2016, 24(3): 78-84. (in Chinese)

[15] 李　强 . 氮肥对不同氮效率玉米品种氮素吸收利用及产量形成的影响[D] . 四川农业大学,2014 .

[16] 王晓慧,曹玉军,魏雯雯,等 . 我国北方37个高产春玉米品种干物质生产及氮素利用特性[J] . 植物营养与肥料学报,2012,18(1):60-68 .
Wang X H, Cao Y J, Wei W W, et al. Dry matter production and nitrogen utilization characteristics of 37 high-yield spring maize varieties in northern my country[J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizer, 2012, 18(1): 60-68. (in Chinese)

[17] 陈范骏,房增国,高　强,等 . 中国东华北部分地区玉米主推品种高产氮高效潜力分析[J] . 中国科学,2013(4):342-350 .
Chen F J, Fang Z G, Gao Q, et al. Analysis of high-yield nitrogen high-efficiency potential of major maize varieties in parts of East China and North China[J]. Science in China, 2013(4): 342-350. (in Chinese)

[18] 魏　湜,曹鑫波,李改玲,等 . 黑龙江玉米主产区不同基因型玉米氮素利用效率分析[J] . 东北农业大学学报,2017,48(2):1-7 .
Wei D, Cao X P, Li G L, et al. Nitrogen use efficiency analysis of different genotype maize in Heilongjiang main maize producing areas[J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2017, 48(2): 1-7. (in Chinese)

[19] 崔文芳,高聚林,孙继颖,等 . 氮高效玉米基因型氮素生产效率研究[J] . 玉米科学,2014,22(1):96-102 .
Cui W F, Gao J L, Sun J Y, et al. Nitrogen-efficient maize genotype nitrogen production efficiency [J]. Journal of Maize Sciences, 2014, 22(1): 96-102. (in Chinese)

[20] 刘建安,米国华,张福锁 . 不同基因型玉米氮效率差异的比较研究[J] . 农业生物技术学报,1999,7(3):248-254 .
Liu J A, Mi G H, Zhang F S. Comparative study on the difference of nitrogen efficiency of different genotype maize[J]. Journal of Agricultural Biotechnology, 1999, 7(3): 248-254. (in Chinese)

[21] Moll R H, Kamprath E J, Jackson W A. Analysis and interpretation of factors which contribute to efficiency of nitrogen utilization[J]. Agronomy Journal, 1982, 74: 562-564.

[22] 侯志研,王大为,郑家明,等 . 辽西地区玉米高产品种和技术模式筛选研究[J] . 玉米科学,2011,19(2):101-104 .
Hou Z Y, Wang D W, Zheng J M, et al. Screening of high-yield maize varieties and technical models in western Liaoning[J]. Journal of Maize Sciences, 2011, 19(2): 101-104. (in Chinese)

[23] 张崎峰 . 黑龙江省黑河地区应对气候变化玉米品种筛选与种植方法探讨[J] . 黑龙江农业科学,2011(4):32-34 .
Zhang Q F. Screening and planting methods of maize varieties in re-

sponse to climate change in Heihe district, Heilongjiang province [J]. Heilongjiang Agricultural Sciences, 2011(4): 32-34. (in Chinese)

[24] Anbessa Y, Juskiw P, Good A, et al. Genetic variability in nitrogen use efficiency of spring barley[J]. Crop Science, 2010, 49: 1259-1269.

[25] 王忠孝,王庆成,牛玉贞,等 . 夏玉米亩产吨粮的理论与实践[J] . 玉米科学,1993,1(1):10-16 .
Wang Z X, Wang Q C, Niu Y Z, et al. The theory and practice of summer corn yield per ton grain [J]. Journal of Maize Sciences, 1993, 1(1): 10-16. (in Chinese)

[26] 张 胜,郭新利,迟玉亭,等 . 春玉米吨粮田产量构成因素及其指标研究[J] . 内蒙古农业大学学报,2000,21(增刊):40-45 .
Zhang S, Guo X L, Chi Y T, et al. Spring maize per ton grain field yield components and indicators research[J]. Journal of Inner Mongolia Agricultural University, 2000, 21(S1): 40-45. (in Chinese)

[27] 赵久然 . 玉米不同品种基因型穗粒数及其构成因素相关分析的研究[J] . 北京农业科学,1997,15(6):1-2 .
Zhao J R. Correlation analysis of ear number and its constituent factors of different maize genotypes[J]. Beijing Agricultural Sciences, 1997, 15(6): 1-2. (in Chinese)

[28] 李 明,杨克军,刘 钢,等 . 寒地高产玉米产量构成因素分析[J] . 东北农业大学学报,OOOO,35(5):553-555 .
Li M, Yang K J, Liu G, et al. Analysis of the components of high-yield maize yield in cold regions[J]. Journal of Northeast Agricultural University, OOOO, 35(5): 553-555. (in Chinese)

[29] Monneveux P Z, Sanchez P. Population density and low—nitrogen affects yield-associated traits in tropical maize[J]. Crop Science, 2005, 45(2): 535.

[30] 柯福来,马兴林,黄瑞冬,等 . 高产玉米品种的产量结构特点及形成机制[J] . 玉米科学,2010,18(2):65-69 .
Ke F L, Ma X L, Huang R D, et al. Yield structure characteristics and formation mechanism of high-yield maize varieties[J]. Journal of Maize Sciences, 2010, 18(2): 65-69. (in Chinese)

[31] 郑洪兵,齐 华,刘武仁,等 . 不同施氮水平下郑单958和先玉335产量特征比较研究[J] . 玉米科学,2013,21(5):117-119,126 .
Zheng H B, Qi H, Liu W R, et al. Comparative study on yield characteristics of Zhengdan958 and Xianyu335 under different nitrogen application levels[J]. Journal of Maize Sciences, 2013, 21(5), 117-119, 126. (in Chinese)

[32] 焦宏业,张就英,孙海昆,等 . 从郑单958和先玉335年份间产量博弈探讨冀南地区夏玉米杂交种模式选择[J] . 河北农业科学,2015,19(4):82-83 .
Jiao H Y, Zhang J Y, Sun H K, et al. Discussing the summer maize hybrid model selection in southern Hebei from Zhengdan958 and Xianyu335 yield game[J]. Hebei Agricultural Sciences, 2015, 19 (4): 82-83. (in Chinese)

[33] Chen Y L, Xiao C X, Wu D L. 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. (in Chinese)

[34] 石 磨 . 吉林省东部春玉米超高产栽培及气候条件影响的研究[D] . 中国农业大学,2007 .

(责任编辑:姜媛媛)