西北农业学报 2017,26(8):1173-1182
Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica doi:10.7606/j.issn.1004-1389.2017.08.010

网络出版日期:2017-08-18
网络出版地址:http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1220.S.20170818.0938.010.html

黑龙江省不同熟期玉米品种灌浆脱水及产量品质特性

周 颖[1],张立国[2],顾万荣[1],刘晓双[1],左师宇[1],
曹鑫波[1],李 晶[1],魏 湜[1]
(1.东北农业大学 农学院,哈尔滨 150030;2.黑龙江省农业科学院 玉米研究所,哈尔滨 150086)

摘 要 为明确不同熟期玉米品种灌浆脱水及产量品质特性,为黑龙江省选择熟期适宜的玉米品种提供参考,选用晚熟品种('先玉335'和'鑫鑫2号')、中晚熟品种('绥玉23'和'吉单27')作为试验材料,在哈尔滨地区(第一积温带)展开试验,对其籽粒灌浆速率、含水量、脱水速率、产量及品质进行研究。结果表明:不同熟期的品种籽粒灌浆特性不同,中晚熟品种'绥玉23'和'吉单27'灌浆启动快、最大灌浆速率出现时间早于晚熟品种'先玉335'和'鑫鑫2号'。各品种的脱水特征亦有不同,相比'先玉335''鑫鑫2号'2个品种,'绥玉23''吉单27'前期脱水速率更大,脱水快,收获时含水量更低。中晚熟品种与晚熟品种产量差异不显著,品质差异显著,中晚熟品种籽粒体积质量和淀粉质量分数显著高于晚熟品种,品质相对更好。为保证玉米正常成熟,降低籽粒含水量,提高产量和品质,在哈尔滨地区种植中晚熟品种较为适宜。

关键词 熟期;灌浆;脱水;产量;品质
中图分类号 S513 **文献标志码** A **文章编号** 1004-1389(2017)08-1173-10

近年来玉米种植面积和总产逐步增加,2015年玉米种植面积占全国谷物播种面积的39.8%,总产量高达2.25万t[1-2]。黑龙江省作为全国产粮大省,近年来玉米生产发展迅猛,然而无霜期短、有效活动积温低、生长季热量不足都严重制约着黑龙江省的玉米生产。各地区积温情况不同,主栽作物的熟性也不同,生产过程中,需要根据当地的自然条件因地制宜地发展农业生产,以≥10 ℃积温作为划分热量带的标准。黑龙江省农作物栽培区域主要分为6个积温带,积温带之间跨度为200 ℃,分别为第一积温带(≥2 700 ℃)、第二积温带(2 500~2 700 ℃)、第三积温带(2 300~2 500 ℃)、第四积温带(2 100~2 300 ℃)、第五积温带(1 900~2 100 ℃)和第六积温带(≤1 900 ℃)[3]。目前黑龙江省不同积温带分别种有不同熟期的玉米品种,多数农民为了提高产量,选择种植晚熟品种,致使玉米生育期内有效积温不足,未达到完熟期就已经收获,收获时籽粒含水量超过30%,无法机械收获,贮藏加工困难,易发生霉变,增加了烘干成本,产量品质均受到影响。美国等发达国家在玉米生产过程中,为降低玉米籽粒含水量,多选用熟期早、后期脱水快的品种,结合后期站秆晾晒,配合机械化收获,有效降低收获时玉米籽粒的破损情况,减少烘干费用[4-5]。

灌浆速率和灌浆持续期都是影响籽粒产量的重要因素[6-7]。有研究表明,玉米籽粒灌浆速率与含水量关系密切,籽粒干质量会随着含水量的变化而变化[8]。籽粒脱水速率会随着灌浆时间的延长而减小[9]。体积质量作为反映玉米成熟度的指标,能够将生育期和含水量连结在一起,更精准地评定籽粒品质,体积质量会随着水分质量分数的下降不断增加[10]。本试验选取黑龙江省中晚熟玉米品种'绥玉23''吉单27'和晚熟玉米品种'先玉335''鑫鑫2号'为材料,研究不同熟期籽粒灌浆、脱水差异,分析不同熟期玉米产量及品质特性,以解决黑龙江省玉米生产上无法正常成熟、收获时籽粒含水量过高及品质差的问题,为黑龙江

收稿日期:2017-01-05 **修回日期**:2017-04-07
基金项目:国家重点研发计划(2016YFD0300103);哈尔滨市应用技术研究与开发项目(2015RQQXJ046);黑龙江省博士后科研启动基金(LBH-Q16031);黑龙江省青年科学基金(QC2015032);东北农业大学"学术骨干"项目。
第一作者:周 颖,女,硕士研究生,从事玉米高产栽培技术研究。E-mail:942059603@qq.com
通信作者:魏 湜,男,教授,博士生导师,主要从事作物高产理论与实践、宏观农业研究。E-mail:weishi5608@163.com
顾万荣,男,副研究员,博士,研究方向为玉米高产栽培生理生态及其化学调控技术。E-mail:wanronggu@163.com

省选择熟期适宜的玉米品种提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料与地点

试验于 2015 年和 2016 年在东北农业大学向阳农场试验基地进行，该基地处于黑龙江省第一积温带(活动积温≥2 700 ℃)，无霜期 140 d 左右。选用黑龙江省晚熟玉米品种‘先玉 335’和‘鑫鑫 2 号’及中晚熟玉米品种‘绥玉 23’和‘吉单 27’(表 1)为试验材料。每年 4 月 26 日人工点播，9 月 28 日收获。土壤类型为黑钙土，地势平坦，前茬为马铃薯。土壤中全氮 1.70 g/kg，速效钾 179.35 mg/kg，速效磷 65.34 mg/kg，有机质 25.25 g/kg，碱解氮 118.21 mg/kg，试验地 pH 6.85。

1.2 试验设计

采用随机区组设计，3 次重复，试验小区面积 48 m^2，10 行区，行长 8 m，行距 0.6 m，株距 23.5 cm，密度为 6 万株/hm^2，播种时，以氮、磷、钾肥为底肥，施肥量为 N 270 kg/km^2，P_2O_5 105 kg/hm^2，K_2O 120 kg/hm^2，磷、钾肥一次性全部施入，氮肥分 2 次施入，50%随旋耕整地施入，剩下 50%作为追肥，于 6 月 20 日单株施入，其他栽培措施同一般高产田。

表 1 试验品种生育时期

Table 1 The characteristics of growth period in tested maize cultivars

熟期类型 Maturity	品种 Cultivar	≥10 ℃的积温/ ℃ Accumulated temperature≥10 ℃	生育期/d Growth period	开花期 Anthesis date	生理成熟期 Physiological maturity date
中晚熟 Mid-late maturity	绥玉 23 Suiyu 23	2 550～2 700	120	07-12	09-17
	吉单 27 Jidan 27	2 550～2 700	120	07-12	09-17
晚熟 Late maturity	先玉 335 Xianyu 335	≥2 700	>130	07-23	09-30
	鑫鑫 2 号 Xinxin 2	≥2 700	>130	07-23	09-30

1.3 测定项目与方法

1.3.1 *籽粒干鲜质量及体积* 在玉米吐丝期，标记吐丝时间一致的植株，于玉米开花后 10、15、20、25、30、35、40、45、50 和 55 d 取样，每品种每次取 3 个果穗，在果穗中部取 100 粒，称鲜质量，通过排水法测得籽粒体积，之后于 105 ℃烘箱中杀青 30 min，然后将烘箱调至 85 ℃，烘干至恒质量后，称干质量。

1.3.2 *籽粒灌浆参数* 籽粒灌浆参数通过软件 Curve Expert 1.4 模拟灌浆过程得出，用 Logistic 方程 $Y=a/(1+be^{-a})$ 拟合花后籽粒干质量变化，其中 t 为花后时间(开花日计 $t_0=0$)，Y 为籽粒干质量(开花日粒质量计 Y_0)，a 为理论最大百粒质量，b、c 为待定参数，得出各品种 Logistic 方程，进一步计算灌浆次级参数，进行生长分析。

1.3.3 *籽粒含水量* 参照王振华等[11]的方法，自开花 10 d 后开始取样，每 5 d 进行一次取样。每次取 3 个果穗中部籽粒 100 粒，用天平称籽粒鲜质量(w_1)后，放入网袋内，挂在网室内自然风干，风干后称量(w_2)再从风干的籽粒中取出 20～30 g(w_3)装入铝盒中，于(103±2) ℃烘箱中烘 36 h，至恒质量(w_4)，根据下列公式计算出每次取样的籽粒含水量。

$$籽粒含水量=[(w_1w_3-w_2w_4)/w_1w_3]\times 100\%$$

1.3.4 *籽粒脱水参数* 籽粒脱水过程通过对指数方程 $h=De^{Et}$ 进行模拟，拟合花后籽粒含水量变化，其中，t 为花后时间，h 为花后籽粒含水量，D、E 为待定参数，得出各品种籽粒脱水参数，进行分析。

1.3.5 *产量及其穗部性状* 收获时，在小区未取样的玉米行内选择 2 行全部收获，自然风干，测定籽粒产量构成因素，调查穗部性状，按 14%标准含水量折算产量。

1.3.6 *体积质量与淀粉质量分数* 根据国标法《玉米》GB1353－1999 附录 A 采用 GHCS－1000 型体积质量器测定体积质量。淀粉质量分数采用近红外谷物分析仪测定。

1.4 数据与分析

采用 Microsoft Excel 2007 对数据进行整理和作图，并用 DPS V7.05 和 Curve Expert 1.4 进行分析。

2 结果与分析

2.1 不同熟期玉米品种籽粒干(鲜)质量变化动态

籽粒鲜质量与干质量积累动态表明(图 1)，晚熟品种‘先玉 335’和‘鑫鑫 2 号’的籽粒鲜质量的快速增长期集中在花后 10～45 d 内，而中晚熟

品种'绥玉 23'和'吉单 27'集中在花后的 10～40 d 内,且不同熟期的品种达到最大鲜质量的时间有差异,'绥玉 23'和'吉单 27'于花后 40 d 左右鲜质量达到最大值,40 d 后有小幅度下降,可能与籽粒成熟后期含水量下降有关,'先玉 335'和'鑫鑫 2 号'开花 40 d 后籽粒鲜质量仍有小幅度增加,说明其仍在持续灌浆。4 个品种籽粒干质量的积累动态均呈现为前期缓慢、中期快速、后期平稳的"S"形曲线,这与籽粒鲜质量的动态相似。由图 1 可以看出,在花后 15 d 内,干质量增长速率缓慢,此时籽粒水分正在快速增加,花后 15～40 d 为干物质质量积累的关键时期,在这一时期内 4 个品种的干物质量积累迅速,其中'绥玉 23'与'吉单 27'的籽粒干质量的增长速度明显高于'先玉 335'和'鑫鑫 2 号','绥玉 23'和'吉单 27'的干质量增长速率分别是 0.83 g/d、0.92 g/d,高于'先玉 335'和'鑫鑫 2 号'的 0.82 g/d、0.82 g/d,且达到最大干质量时间也更早。

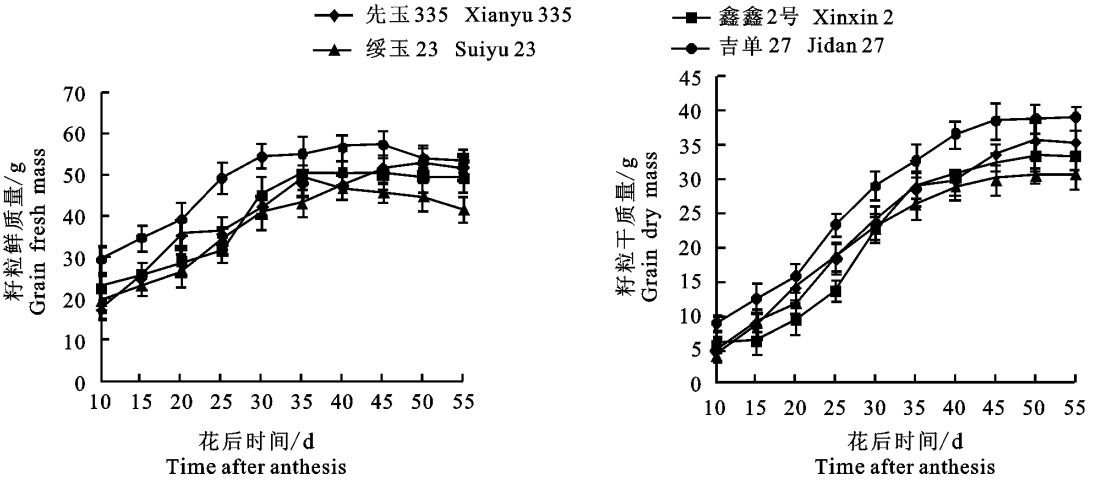

图 1　不同熟期玉米品种籽粒干鲜质量变化动态

Fig. 1　Dynamic changes of grain fresh mass and grain dry mass in different maturing-type maize

2.2　不同熟期玉米品种籽粒体积变化动态

对不同熟期的玉米籽粒体积变化动态(图 2)分析表明,随着花后时间的不断增加,各品种籽粒体积均呈现不断增大的趋势,在花后 10～40 d 内,各品种籽粒体积增长较快,此时为体积快速增大期,40 d 后增速明显减缓,中晚熟品种'绥玉 23'和'吉单 27'在花后 40 d 左右籽粒体积达到最大,晚熟品种'先玉 335'和'鑫鑫 2 号'则在花后 45 d 左右达到最大体积,达到最大体积后各品种籽粒体积均有小幅度减少,应该是由于后期脱水导致体积减小,中晚熟品种籽粒体积达到最大值时间早,脱水开始时间早于晚熟品种。

2.3　不同熟期玉米品种籽粒灌浆特征参数

灌浆速率是指每日每粒增加的干物质质量,是决定籽粒粒质量的重要指标之一。以花后时间(t)为自变量,百粒干质量(Y)为因变量,采用 Logistic 方程 $Y=a/(1+be^{-a})$对不同熟期的玉米品种籽粒灌浆过程进行拟合,R^2 为决定系数,系数越大,拟合度越好。从表 2 中可以看出,$R^2>0.99$,说明 Logistic 方程对不同熟期玉米籽粒的灌浆过程均能够很好的模拟。根据方程拟合出的灌浆过程,将整个灌浆期分为 3 个部分,灌浆渐增期($T_1=t_1-t_0$)、灌浆速增期($T_2=t_2-t_1$)和灌浆缓增期($T_3=t_3-t_2$)。从表 2 中还可以看出,中晚熟品种'绥玉 23'和'吉单 27'的灌浆高峰开始时间为花后13.32d和11.15d,均早于晚熟品

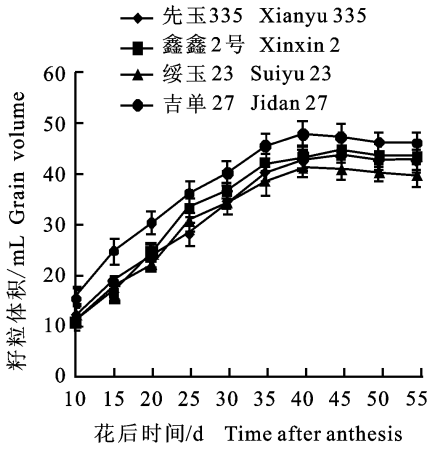

图 2　不同熟期玉米品种籽粒体积变化动态

Fig. 2　Dynamic changes of grain volume in different maturing-type maize

表 2 不同熟期玉米品种籽粒灌浆特征参数

Table 2 The parameters of grain-filling characteristics in different maturing-type maize

品种 Cultivar	Y/g	V_m/(g/d)	T_m/d	V_a/(g/d)	t_1/d	t_2/d	T_1/d	T_2/d	T_3/d	V_1/(g/d)	V_2/(g/d)	V_3/(g/d)	R^2
先玉 335 Xianyu 335	36.64	1.06	25.13	0.57	13.78	43.53	13.78	29.75	21.21	0.56	0.78	0.25	0.998
鑫鑫 2 号 Xinxin 2	34.42	1.27	26.13	0.60	17.23	35.03	17.23	17.79	22.15	0.42	1.12	0.31	0.993
绥玉 23 Suiyu 23	31.10	1.08	22.78	0.56	13.32	32.27	13.32	18.95	30.79	0.49	0.95	0.27	0.998
吉单 27 Jidan 27	40.82	1.16	22.71	0.65	11.15	34.26	11.15	25.11	28.76	0.77	1.25	0.28	0.998

注：Y. 最大干质量；V_m. 籽粒灌浆最大速率；T_m. 最大灌浆速率出现时间；V_a. 平均灌浆速率；t_1. 灌浆高峰开始时间；t_2. 灌浆高峰结束时间；T_1. 灌浆渐增期持续时间；T_2. 灌浆速增期持续时间；T_3. 灌浆缓增期持续时间；V_1. 渐增期平均灌浆速率；V_2. 速增期平均灌浆速率；V_3. 缓增期平均灌浆速率；R^2. 模型拟合的决定系数；下表同。

Note: Y. maximum grain mass ; V_m. maximum grain-filling rate; T_m. the time reaching the maximum grain-filling rate, V_a. mean grain-filling rate; t_1, the time starting the maximum grain-filling; t_2, the time ending the maximum grain-filling; T_1. grain-filling duration of early stage; T_2. grain-filling duration of middle stage; T_3. grain-filling duration of late stage; V_1. mean grain-filling rate of early stage; V_2. mean grain-filling rate of middle stage; V_3. mean grain-filling rate of late stage; R^2. determination coefficient of the model; the same as the following tables.

种‘先玉 335’和‘鑫鑫 2 号’的 13.78 d 和 17.23 d，最大灌浆速率出现的时间也早于晚熟品种 2.35～3.42 d，且渐增期较短，速增期较长，说明‘绥玉 23’和‘吉单 27’灌浆开始时间早，强度大。

2.4 不同熟期玉米品种籽粒含水量变化动态

玉米籽粒含水量动态可以反映籽粒灌浆进程与籽粒含水量的变化趋势。由图 3 可知，开花后，各玉米品种籽粒含水量均随着生育期的不断推进而逐渐降低，总体表现为花后 10～35 d 内含水量下降快，开花 35 d 后相对较慢，不同熟期品种间存在差异。其中‘绥玉 23’和‘吉单 27’的含水量始终低于‘先玉 335’和‘鑫鑫 2 号’，开花 55 d 时含水量达到最低，为 27.07%，此时黑层出现、乳线几乎消失，已经达到生理成熟。‘先玉 335’和‘鑫鑫 2 号’在开花 55 d 时含水量分别为 32.07%、32.33%，水分质量分数仍然较高，未达到生理成熟。

2.5 不同熟期玉米品种籽粒脱水速率变化动态

脱水速率是指籽粒每日减少的水分质量分数，能够决定收获时籽粒的含水量。以花后时间（t）为自变量，籽粒含水量（h）为因变量，采用指数方程 $h=De^{Et}$ 对籽粒脱水过程进行模拟，从表 3 可以看出，各品种方程的决定系数均大于 0.98，说明指数方程可以很好地拟合籽粒脱水过程。

由表3可知，各品种均在籽粒灌浆渐增期脱

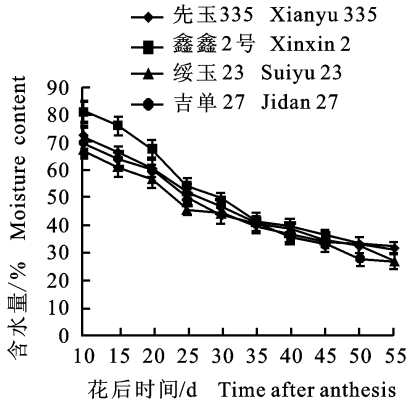

图 3 不同熟期玉米品种籽粒含水量变化动态

Fig. 3 Dynamic changes of grain moisture content in different maturing-type maize

表 3 不同熟期玉米品种籽粒脱水特征参数

Table 3 The parameters of grain dehydration characteristics in different maturing-type maize

品种 Cultivar	h_1/%	h_2/%	H_1/%	H_2/%	H_3/%	R^2
先玉 335 Xianyu 335	66.73	35.73	1.68	1.04	0.61	0.986
鑫鑫 2 号 Xinxin 2	68.95	44.98	1.22	1.35	0.83	0.988
绥玉 23 Suiyu 23	63.27	44.14	2.01	1.01	0.68	0.991
吉单 27 Jidan 27	69.57	40.88	1.83	1.14	0.69	0.997

注：h_1. 灌浆高峰开始时籽粒含水量；h_2. 灌浆高峰结束时籽粒含水量；H_1. 渐增期平均脱水速率；H_2. 速增期平均脱水速率 ；H_3. 缓增期平均脱水速率。

Note: h_1. grain moisture content at the time starting the maximum grain-filling; h_2. grain moisture content at the time ending the maximum grain-filling; H_1. mean dehydration rate of early stage; H_2. mean dehydration rate of middle stage; H_3. mean dehydration rate of late stage.

水速率最大,速增期减小,缓增期脱水最慢。不同熟期品种籽粒脱水速率不同,与'先玉 335'和'鑫鑫 2 号'相比,'绥玉 23'和'吉单 27'在渐增期脱水速率更大,说明'绥玉 23'和'吉单 27'前期脱水更快,缓增期各品种脱水速率差异不大,而收获时籽粒含水量差异显著,这说明前期快速脱水可能有利于降低籽粒含水量。

2.6　不同熟期玉米品种产量及相关性状分析

从表 4 可以看出,不同熟期玉米品种产量及相关性状之间存在差异。4 个玉米品种的产量均超过 10 000 kg/hm^2,其中'先玉 335'的产量最高,达到了 14 216.22 kg/hm^2,其余 3 个品种产量差异不显著。不同品种的产量构成因素之间存在显著差异,'绥玉 23'的穗粒数最大,为 785.33 粒,其次为'先玉 335''鑫鑫 2 号',分别是 657.00、649.67 粒,'吉单 27'穗粒数最低,只有 546.33粒。'吉单 27'的百粒质量为 39.31 g,达到最大,'绥玉 23'的百粒质量最低,为 26.64 g。'先玉 335'和'鑫鑫 2 号'的穗粒数及百粒质量差异不大,且均属于较高水平,因此产量较高,'绥玉 23'虽百粒质量低,但穗粒数最多,保证品种高产,同样,虽然'吉单 27'穗粒数最少,但高的百粒质量极大的提高品种产量。

由表 4 还可以看出,4 个品种的秃尖长也有显著差异,'绥玉 23'和'吉单 27'的秃尖长较小,'鑫鑫 2 号'最大,可能是由于中晚熟品种在生育期内获得充足积温,籽粒灌浆充实,秃尖短。收获时的含水量在各品种间差异显著,'绥玉 23'和'吉单 27'收获时含水量最低,仅为 27.07%,'先玉 335''鑫鑫 2 号'分别高出其 18.47%和 19.43%。

2.7　不同熟期玉米品种体积质量、淀粉质量分数分析

体积质量是指单位体积内籽粒的质量,体积质量和淀粉质量分数都是重要的商品品质指标。对不同熟期的玉米品种体积质量和淀粉质量分数进行比较,从表 5 中可以看出,不同熟期玉米品种之间体积质量、淀粉质量分数差异均显著,其中中晚熟品种'绥玉 23'和'吉单 27'的体积质量和淀粉质量分数均显著高于晚熟品种'先玉 335'和'鑫鑫 2 号',可能与中晚熟品种籽粒含水量低有关。相关分析表明,体积质量与淀粉质量分数呈极显著正相关($r=0.98^{**}$),与含水量呈极显著负相关($r=-0.98^{**}$),淀粉质量分数与含水量呈极显著负相关($r=-0.93^{**}$),即含水量越高,体积质量和淀粉质量分数越低,可以通过降低籽粒含水量增加体积质量和淀粉质量分数,提高品质。

表 4　不同熟期品种产量及相关性状分析

Table 4　Analysis of yield and yield components in different maturing-type maize

品种 Cultivar	穗数/hm^{-2} Spike number	穗粒数 Kernels per spike	百粒质量/g 100-grain mass	穗长/cm Ear length	秃尖长/cm Blad tip length	含水量/% Moisture content	产量/(kg/hm^2) Yield
先玉 335　Xianyu 335	59 806.73 a	657.00±29.46 b	36.18±1.60 b	21.08±0.30 c	1.14±0.29 b	32.07±0.78 a	14 216.22±244.15 a
鑫鑫 2 号　Xinxin 2	59 803.90 a	649.67±24.13 b	34.58±2.36 b	23.20±0.50 b	2.90±0.35 a	32.33±0.90 a	13 435.30±330.20 b
绥玉 23　Suiyu 23	59 811.57 a	785.33±9.07 a	26.64±1.22 c	24.43±0.87 a	0.10±0.17 c	27.07±0.45 b	12 513.29±200.26 b
吉单 27　Jidan 27	59 805.07 a	546.33±32.13 c	39.31±1.06 a	19.90±0.40 d	0.17±0.29 c	27.07±0.31 b	12 843.88±230.08 b

注:数据为"平均值±标准差"。同列数据后不同小写字母代表不同品种间差异显著($P<0.05$)。下表同。

Note:Data was "Mean ± standard deviation". Different letters within a column indicate significant difference among treatments ($P<0.05$). The same as below.

表 5　不同熟期品种体积质量、淀粉质量分数及含水量比较

Table 5　Comparision of volumic mass, starch mass fraction and moisture content in different maturing-type maize

品种 Cultivar	体积质量/(g/L) Volumic mass	淀粉质量分数/% Starch mass fraction	含水量/% Moisture content
先玉 335　Xianyu 335	638.33±3.51 bc	71.27±0.93 b	32.07±0.55 a
鑫鑫 2 号　Xinxin 2	634.67±6.11 c	71.43±0.98 b	32.33±0.83 a
绥玉 23　Suiyu 23	652.67±12.12 a	73.40±1.15 a	27.07±0.45 b
吉单 27　Jidan 27	650.33±8.50 ab	73.37±1.02 a	27.07±0.31 b

3 讨 论

灌浆期是产量形成的重要时期[12-13]。灌浆速率和灌浆持续期都是决定粒质量的重要因素，增产主要是通过提高灌浆速率或延长灌浆时间来体现的[14-15]。刘霞等[16]研究认为，玉米粒质量受平均灌浆速率的影响较小，灌浆的持续时间对其影响较大。张海艳等[17]研究表明，玉米粒质量与灌浆时间相关性不显著，灌浆速率才是决定玉米粒质量的重要因素。戴凌燕等[18]对黑龙江省春玉米高产品种的灌浆脱水特性分析表明，在热量资源和水资源相对较少的地区，灌浆速率是籽粒灌浆程度和产量的决定性因素。马冲等[19]研究发现，相比晚熟品种而言，中早熟品种的灌浆高峰期持续时间更长，灌浆强度更大。岳海旺等[20]对不同玉米品种的籽粒灌浆特性进行比较表明，可以通过提高灌浆速率增加籽粒质量。王同朝等[21]研究认为，早熟品种灌浆开始时间早，速率高，晚熟品种灌浆开始时间晚，速率低，正常条件下两种熟期的品种均可获得高产。本研究表明，中晚熟品种‘绥玉 23’和‘吉单 27’灌浆开始时间早，速增期较长，晚熟品种‘先玉 335’和‘鑫鑫 2 号’灌浆开始时间相对较晚，缓增期较长，前期灌浆强度明显小于中晚熟品种，与马冲等[19]和王同朝等[21]研究成果相似。可能是由于中晚熟品种生育期短，籽粒积累更迅速，前期灌浆强度更大。可见在哈尔滨玉米种植区域要想进一步提高产量，应在选用中晚熟玉米品种的基础上，通过后期追肥提高籽粒灌浆速率，延长灌浆速增期持续时间[22-23]。

近年来种植结构不断调整，为了能够实现机械化收获，优质、熟期适宜的玉米品种越来越受到农民的重视[24]。宋朝玉等[25]研究认为，玉米收获时籽粒含水量是重要的收获指标之一。籽粒含水量低有利于机械收获减少籽粒损失，易贮藏、运输，玉米的商品品质也能够得到提高[19]。不同品种之间籽粒含水量存在显著差异[26]。选育脱水速率快的杂交种是降低玉米收获时含水量的最直接方法[27]。刘武仁等[28]研究认为，可以通过选择熟期适宜的高产玉米品种来降低籽粒含水量。本研究表明，在相同的栽培条件下，晚熟品种‘先玉 335’和‘鑫鑫 2 号’与中晚熟品种‘绥玉 23’和‘吉单 27’收获时的含水量差异达显著性水平，且不同熟期的品种脱水速率也不相同，中晚熟品种前期脱水速率大于晚熟品种，脱水更快。为了降低籽粒含水量，适应机械化收获，本地区更适宜种植中晚熟品种。

理论上，在一定范围内，产量随着生育期的延长而增加，可以通过延长生育期增加光能利用时间获得较高的产量[29]。近年来，黑龙江省的农民为了获得高产，多数选择种植晚熟品种，黑龙江省玉米育种也以在适宜种植区尽可能选育生育期较长品种作为研究目标。但从本研究的产量水平来看，晚熟品种的产量突破并不是很大，生育期长的晚熟品种收获时籽粒含水量高，高含水量会影响品质，对经济效益造成影响。冷志杰等[30]研究表明地区积温在 2 700 ℃左右时，由于受气候因素约束，熟期早于中晚熟的玉米品种的产量会随着生育期的延长不断增加，但当熟期晚于中晚熟时，产量会随着生育期的延长而下降。王亮等[31]对辽宁省不同熟期玉米杂交种的产量进行分析表明，辽宁省中晚熟玉米品种的产量要高于晚熟品种，延长生育期获得高产并不可靠。本研究表明，中晚熟品种‘绥玉 23’百粒质量虽低于其他品种，但其穗粒数最大，弥补了百粒质量低的缺陷，‘吉单 27’同理，虽穗粒数最低，但高的百粒质量取得优势，获得较高产量。说明晚熟品种生育后期的 10～15 d 对产量的贡献并不大，通过延长生育期提高产量的潜力有限[32]。晚熟品种生育期长，收获时仍在持续灌浆，干物质质量未达到最大，收获时籽粒含水量仍较高，根据 2015 年国家玉米临储价，27% 含水量的玉米收购价格为 0.798 5 元/kg，而 32% 含水量的收购价只有 0.724 5 元/kg，晚熟品种收购价每千克要比中晚熟品种低0.074 元，以本试验中产量为参考，中晚熟品种‘绥玉 23’和‘吉单 27’的收购价分别为 9 991.86 元/hm^2、10 255.84元/hm^2，晚熟品种‘先玉 335’和‘鑫鑫 2 号’的收购价分别为 10 299.65 元/hm^2、9 733.87元/hm^2，由此可知，晚熟品种并没有带来过高的经济效益，甚至中晚熟品种的效益会高于晚熟品种，且中晚熟品种生育期相对较短不会面临早霜危害，产量和品质都更有保障。

体积质量是反映玉米饱满度的重要指标[33]，体积质量越大，意味着一定体积内籽粒质量越大、内含营养物质越多[34]。在籽粒中淀粉质量分数占干质量的 70%，灌浆过程就是淀粉的不断积累[35]。张丽等[10]研究表明，体积质量与淀粉质量分数呈极显著正相关，可以通过提高淀粉总质量分数提高玉米的体积质量。有研究认为，体积质

量也与水分质量分数密切相关,籽粒含水量越高,体积质量越低[36],可以通过降低籽粒含水量的方式提高体积质量,提高籽粒品质。本研究也表明,体积质量、淀粉质量分数与含水量呈极显著负相关。体积质量越大,商品质量越好,收购价格也会随着质量的提高而增加,不仅符合当前供给侧结构性改革的大格局,经济效益也会增加。有学者表明,在中国中部地区,较晚熟品种而言,中晚熟品种的产量和品质更有优势。本研究表明,中晚熟玉米品种的体积质量和淀粉质量分数都要高于晚熟品种,说明中晚熟品种籽粒品质更好,可能是由于中晚熟品种生育期短,收获时成熟度高,籽粒含水量少,体积质量和淀粉质量分数较高,品质更好。

环境条件与产量形成密切相关,在种植区域内选择适合的品种可以充分发挥品种本身的增产潜力[37]。张冬梅等[38]研究认为,熟期早的品种比熟期晚的品种安全成熟性更高,高产稳产性更好、品质更优。本试验中,同晚熟品种相比,中晚熟品种收获时含水量更低,体积质量和淀粉质量分数更高,产量和品质都能得到保障,经济效益有所增加,本研究认为哈尔滨玉米种植区应选择种植中晚熟玉米品种。未来的研究应把确保玉米安全成熟、提高产量和品质,解决黑龙江省"水玉米"的问题作为重点。

4　结 论

本研究以黑龙江省不同熟期的玉米品种作为材料,分析其灌浆、脱水、产量及品质特性,结果表明晚熟品种因积温不足,收获时未达到生理成熟,后期脱水速率较慢,收获时含水量过高,不利于机械收获和贮藏,体积质量、淀粉质量分数较低,品质较差。中晚熟品种由于得到充足的积温,前期灌浆快、强度大,有利于早熟高产,灌浆停止后脱水较快,收获时含水量低,并获得较高产量,经济效益并不低于晚熟品种,品质更好。研究建议哈尔滨玉米种植区(第一积温带)可以考虑适当增加中晚熟玉米品种的种植面积。

参考文献　Reference:

[1] 梁书荣,赵会杰,李洪岐,等. 密度,种植方式和品种对夏玉米群体发育特征的影响[J]. 生态学报,2010,30(7):1927-1931.
LIANG SH R,ZHAO H J,LI H Q,*et al*. Effects of planting densities and modes on developmental characteristics of summer maize populations in two varieties[J]. *Acta Ecologica Sinica*,2010,30(7):1927-1931(in Chinese with English abstract).

[2] 陈印军,肖碧林,工　勇,等. 中国谷物发展态势、展望与对策[J]. 农业经济问题. 2008(7):27-32.
CHEN Y J,XIAO B L,GONG Y,*et al*. Chinese grain development situation,prospect and countermeasures[J]. *Agricultural Economic Question*,2008(7):27-32(in Chinese).

[3] 魏　湜,金　益,张树权. 黑龙江玉米生态生理与栽培[M]. 北京:中国农业出版社,2013:14-16.
WEI SH,JIN Y,ZHANG SH Q. Maize Physiological and Ecological Cultivation in Heilongjiang[M]. Beijing:China Agriculture Press,2013:14-16(in Chinese).

[4] 叶雨盛,王晓琳,李　刚,等. 玉米籽粒生理成熟后脱水速率的研究及应用[J]. 辽宁农业科学,2015(3):46-48.
YE Y SH,WANG X L,LI G,*et al*. Research and application of dehydration rate after maize grain physiological mature[J]. *Liaoning Agricultural Sciences*,2015(3):46-48(in Chinese).

[5] 李少昆. 美国玉米生产技术特点与启示[J]. 玉米科学,2013,21(3):1-5.
LI SH K. Characteristics and enlightenment of corn production technologies in the U. S[J]. *Journal of Maize Sciences*,2013,21(3):1-5(in Chinese with English abstract).

[6] 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.
WU CH SH. Studies on characteristics of grain filling and dry matter accumulation of super high-yield maize[J]. *Journal of Jilin Agricultural University*,2008,30(4):382-385(in Chinese with English abstract).

[7] LEE E A,TOLLENAAR M. Physiological basis of successful breeding strategies for maize grain yield[J]. *Crop Science*,2007,47(Supplement 3):202-215.

[8] 李德新. 玉米籽粒灌浆,脱水速率品种差异和相关分析[D]. 北京:中国农业科学院,2009:26-27.
LI D X. Difference and correlation analysis of grain milking rate and grain dehydrating rate on maize[D]. Beijing:the Chinese Academy of Agricultural Sciences,2009:26-27(in Chinese with English abstract).

[9] 李淑芳,张春宵,路　明,等. 玉米籽粒自然脱水速率研究进展[J]. 分子植物育种,2014,12(4):825-829.
LI SH F,ZHANG CH X,LU M,*et al*. Research development of kernel dehydration rate in maize[J]. *Molecular Plant Breeding*,2014,12(4):825-829(in Chinese with English abstract).

[10] 张　丽,董树亭,刘存辉,等. 玉米籽粒容重与产量和品质的相关分析[J]. 中国农业科学,2007,40(2):405-411.
ZHANG L,DONG SH T,LIU C H,*et al*. Correlation analysis on maize test weight,yield and quality[J]. *Scientia Agricultura Sinica*,2007,40(2):405-411(in Chinese with English abstract).

[11] 王振华,张忠臣,常华章,等. 黑龙江省 38 个玉米自交系生

理成熟期及子粒自然脱水速率的分析[J]. 玉米科学，2001，9(2)：53-55.

WANG ZH H，ZHANG ZH CH，CHANG H ZH，*et al*. Analysis of physiological mature stage and kernel naturally dry－down rate in 38 corn inbred lines in Heilongjiang[J]. *Journal of Maize Sciences*，2001，9(2)：53-55(in Chinese with English abstract).

[12] 刘宗华，张战辉. 玉米籽粒灌浆速率研究进展[J]. 东北农业大学学报，2010，41(11)：148-153.

LIU Z H，ZHANG ZH H. Research progress on grain filling rate in maize[J]. *Journal of Northeast Agricultural University*，2010，41(11)：148-153(in Chinese with English abstract).

[13] 李德新，宫秀杰，钱春荣. 玉米籽粒灌浆及脱水速率品种差异与相关分析[J]. 中国农学通报，2011，27(27)：92-97.

LI D X，GONG X J，QIAN CH R. Difference and correlation analysis of grain milking rate and grain dehydrating rate on maize[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*，2011，27(27)：92-97(in Chinese with English abstract).

[14] 冯汉宇，孙 健，周顺利，等. 2 种熟型玉米籽粒灌浆特性及其与产量关系的比较研究[J]. 华北农学报，2007，22(S1)：135-139.

FENG H Y，SUN J，ZHOU SH L，*et al*. Comparative study of relationship between characteristics of grain filling and yield of two types of maturity in maize[J]. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*，2007，22(S1)：135-139(in Chinese with English abstract).

[15] 李国红，杨恒山，张玉芹，等. 不同栽培模式下春玉米籽粒灌浆特性的研究[J]. 干旱地区农业研究，2013，31(3)：1-6.

LI G H，YANG H SH，ZHANG Y Q，*et al*. Grain-filling properties of spring maize under different cultivation patterns[J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*，2013，31(3)：1-6(in Chinese with English abstract).

[16] 刘 霞，李宗新，王庆成，等. 种植密度对不同粒型玉米品种子粒灌浆进程、产量及品质的影响[J]. 玉米科学，2007，15(6)：75-78.

LIU X，LI Z X，WANG Q CH，*et al*. Effects of planting density on filling process，yield and quality of different maize varieties[J]. *Journal of Maize Sciences*，2007，15(6)：75-78(in Chinese with English abstract).

[17] 张海艳，董树亭，高荣岐. 不同类型玉米籽粒灌浆特性分析[J]. 玉米科学，2007，15(3)：67-70.

ZHANG H Y，DONG SH T，GAO R Q. Analysis on kernel filling characteristics for different maize types[J]. *Journal of Maize Sciences*，2007，15(3)：67-70(in Chinese with English abstract).

[18] 戴凌燕，刘玉涛，王宇先，等. 黑龙江春玉米种植区高产品种籽粒灌浆，脱水特性及产量分析[J]. 中国农学通报，2015，31(6)：75-79.

DAI L Y，LIU Y T，WANG Y X，*et al*. Analysis of grain filling，dehydration characteristics and yield of high-yield varieties in the spring maize planting area of Heilongjiang[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*，2015，31(6)：75-79(in Chinese with English abstract).

[19] 马 冲，邹仁峰. 不同熟期玉米籽粒灌浆特性的研究[J]. 作物研究，2000，14(4)：17-19.

MA CH，ZOU R F. Studies on grain filling characteristics of hybrid corn with different growth durations[J]. *Crop Research*，2000，14(4)：17-19(in Chinese with English abstract).

[20] 岳海旺，陈淑萍，彭海成，等. 玉米籽粒灌浆特性品种间比较[J]. 江苏农业学报，2016，32(5)：1043-1048.

YUE H W，CHEN SH P，PENG H CH，*et al*. Grain filling characteristics in maize materials[J]. *Jiangsu Journal of Agricultural Sciences*，2016，32(5)：1043-1048(in Chinese with English abstract).

[21] 王同朝，卫 丽，马 超，等. 不同生态区夏玉米两类熟期品种子粒灌浆动态和产量分析[J]. 玉米科学，2010，18(3)：84-89.

WANG T CH，WEI L，MA CH，*et al*. Dynamic process of grain-filling and yield factors analysis of late-matured and middle-matured varieties of summer maize after flowering[J]. *Journal of Maize Sciences*，2010，18(3)：84-89(in Chinese with English abstract).

[22] 黄振喜，王永军，王空军，等. 产量 15 000 kg·ha^{-1}以上夏玉米灌浆期间的光合特性[J]. 中国农业科学，2007，40(9)：1898-1906.

HUANG ZH X，WANG Y J，WANG K J，*et al*. Photosynthetic characteristics during grain filling stage of summer maize hybrids with high yield potential of 15 000 kg·ha^{-1}[J]. *Scientia Agricultura Sinica*，2007，40(9)：1898-1906(in Chinese with English abstract).

[23] GASURA E，SETIMELA P S，TAREKEGNE A，*et al*. Variability of grain-filling traits in early maturing CIMMYT tropical maize inbred lines[J]. *Crop Science*，2014，54(2)：530-536.

[24] 栗建枝，李齐霞，李中青，等. 不同玉米品种籽粒脱水特性[J]. 山西农业科学，2014，42(5)：438-442.

LI J ZH，LI Q X，LI ZH Q，*et al*. Kernel dehydration characteristics of maize varieties[J]. *Journal of Shanxi Agricultural Sciences*，2014，42(5)：438-442(in Chinese with English abstract).

[25] 宋朝玉，朱丕生，高峻岭，等. 玉米籽粒脱水评价指标与收获期判断标准的辨析[J]. 山东农业科学，2015，47(8)：20-24.

SONG CH Y，ZHU P SH，GAO J L，*et al*. Analysis of maize seed dehydration and harvest evaluation indexes[J]. *Shandong Agricultural Sciences*，2015，47(8)：20-24(in Chinese with English abstract).

[26] 李艳杰，史纪明，鞠成梅，等. 玉米子粒水分与品种性状相关性研究初报[J]. 玉米科学，2000，8(4)：37-38.

LI Y J，SHI J M，JU CH M，*et al*. Research of maize grain moisture and variety character correlation[J]. *Journal of*

Maize Sciences,2000,8(4):37-38(in Chinese with English abstract).

[27] 张　林,张宝石,王　霞,等.玉米收获期籽粒含水量与主要农艺性状相关分析[J].东北农业大学学报,2009,40(10):9-12.
ZHANG L,ZHANG B SH,WANG X,*et al*. Correlation analysis of agronomic characters and grain moisture in maize harvest time[J]. *Journal of Northeast Agricultural University*,2009,40(10):9-12(in Chinese with English abstract).

[28] 刘武仁,郑金玉,罗　洋,等.影响玉米子粒含水量的因素及低水分玉米生产技术[J].吉林农业科学,2009,34(1):1-2.
LIU W R,ZHENG J Y,LUO Y,*et al*. Factors affecting water content of maize and cultural practice for low water content maize[J]. *Journal of Jilin Agricultural Sciences*,2009,34(1):1-2(in Chinese with English abstract).

[29] 霍仕平,晏庆九,黄文章.纬度和海拔对西南春玉米区中熟玉米品种生育期的效应[J].作物学报,1995,21(3):380-384.
HUO SH P,YAN Q J,HUANG W ZH. Effect of latitude and altitude on growth period of middle maturity maize varieties in West-south Area[J]. *Acta Agronomica Sinica*,1995,21(3):380-384(in Chinese with English abstract).

[30] 冷志杰,徐中儒.不同熟期大豆,玉米间作的产量产值数学模型的建立[J].吉林农业大学学报,1998,20(1):16-19.
LENG ZH J,XU ZH R. The mathematical models of yield and output value of intercrop corn and soybean[J]. *Journal of Jilin Agricultural University*,1998,20(1):16-19(in Chinese with English abstract).

[31] 王　亮,景希强,丰　光,等.辽宁省不同熟期玉米杂交种农艺性状与产量关系分析[J].玉米科学,2015,23(2):106-110.
WANG L,JING X Q,FENG G,*et al*. Correlation analysis on agronomic characters and yield of different maturity maize hybrids in Liaoning province[J]. *Journal of Maize Sciences*,2015,23(2):106-110(in Chinese with English abstract).

[32] 王晓慧,张　磊,刘双利,等.不同熟期春玉米品种的籽粒灌浆特性[J].中国农业科学,2014,47(18):3557-3565.
WANG X H,ZHANG L,LIU SH L,*et al*. Grain filling characteristics of maize hybrids differing in maturities[J]. *Scientia Agricultura Sinica*,2014,47(18):3557-3565(in Chinese with English abstract).

[33] 高春霞.对玉米容重检验方法的初步探讨[J].黑龙江农业科学,2001(5):44-45.
GAO CH X. Preliminary discussion on corn capacity test method[J]. *Heilongjiang Agricultural Science*,2001(5):44-45(in Chinese with English abstract).

[34] 张　丽,张吉旺,樊　昕,等.玉米籽粒比重与灌浆特性的关系[J].中国农业科学,2015,48(12):2327-2334.
ZHANG L,ZHANG J W,FAN X,*et al*. Study on correlation between specific gravity of maize grains and grain filling characteristics[J]. *Scientia Agricultura Sinica*,2015,48(12):2327-2334(in Chinese with English abstract).

[35] 张海燕,董树亭,高荣岐,等.玉米籽粒淀粉积累及相关酶活性分析[J].中国农业科学,2008,41(7):2174-2181.
ZHANG H Y,DONG SH T,GAO R Q,*et al*. Starch accumulation and enzymes activities associated with starch synthesis in maize kernels[J]. *Scientia Agricultura Sinica*,2008,41(7):2174-2181(in Chinese with English abstract).

[36] 王　琳.玉米容重相关性分析[J].粮油仓储科技通讯,2009,25(3):37-38.
WANG L. Correlation analysis on maize test weight[J]. *Grain and Oil Storage Science and Technology Communication*,2009,25(3):37-38(in Chinese).

[37] 张守林,王小星,晋佳路,等.玉米子粒灌浆特性品种间差异分析[J].玉米科学,2012,20(4):105-109.
ZHANG SH L,WANG X X,JIN J L,*et al*. Difference of grain filling characteristics in maize[J]. *Journal of Maize Sciences*,2012,20(4):105-109(in Chinese with English abstract).

[38] 张冬梅,姜春霞,陈　琼,等.应对越区种植不同熟期玉米产量及相关性状研究[J].中国农学通报,2014,30(27):82-87.
ZHANG D M,JIANG CH X,CHEN Q,*et al*. Study on yields and related traits of maize varieties with different maturity periods in response to cross zone planting[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*,2014,30(27):82-87(in Chinese with English abstract).

Characteristics of Grain Filling, Dehydration, Yield and Quality in Different Maturing-type Maize in Heilongjiang Province

ZHOU Ying[1], ZHANG Liguo[2], GU Wanrong[1], LIU Xiaoshuang[1], ZUO Shiyu[1], CAO Xinbo[1], LI Jing[1] and WEI Shi[1]

(1. College of Agronomy, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China;
2. Maize Research Institute, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin 150086, China)

Abstract A field experiment was conducted to illustrate grain filling, dehydration, yield and quality characteristics in different maturing-type maize in Heilongjiang province, aimed to provide a valuable reference for the selection of maturity, experiments were conducted in Harbin(the first accumulated temperature zone) with late maturity ('Xianyu 335' and 'Xinxin 2') and mid-late maturity ('Suiyu 23' and 'Jidan 27') as material, the grain filling rate, moisture content, dehydration, yield and quality were analyzed. The results showed that the grain filling characteristics of different maturing-type maize were different, grain-filling of 'Suiyu 23' and 'Jidan 27' started and reached the maximum grain-filling rate earlier than 'Xianyu 335' and 'Xinxin 2'. Grain dehydrating rate was also different among different varieties. Compared with 'Xianyu 335' and 'Xinxin 2', grain dehydrating rate of 'Suiyu 23' and 'Jidan 27' was higher and dehydrated faster in early stage, and moisture content at harvest was lower. There was no significant difference in yield between different maturing-type maize, but test weight and starch content of mid-late maturity were remarkably higher than late maturity, which meant that the quality of mid-late maturity was better. In order to ensure the maturity of maize, reduce the moisture content, improve yield and quality, mid-late maturity was suitable for planting at Harbin.

Key words Maturity; Grain filling; Dehydration; Yield; Quality

Received 2017-01-05 **Returned** 2017-04-07

Foundation item National Key Research and Development Program of China(No. 2016YFD0300103); Applied Technology Research and Development Program of Harbin City Heilongjiang Province(No. 2015RQQXJ046); Heilongjiang postdoctoral research foundation(No. LBH-Q16031); Heilongjiang Youth Science Foundation(No. QC2015032); Academic backbone project of Northeast Agricultural University.

First author ZHOU Ying, female, master student. Research area: maize high yield cultivation technology research. E-mail: 942059603@qq.com

Corresponding author WEI Shi, male, professor, doctoral supervisor. Research area: theory and practice of crop yield, macro agricultural research. E-mail: weishi5608@163.com

GU Wanrong, male, associate research scientist. Research area: maize high yield cultivation physiological ecology and chemical control technology. E-mail: wanronggu@163.com

(责任编辑: 成 敏 **Responsible editor: CHENG Min**)