

赵波, 吴雅薇, 李小龙, 等. 玉米生理成熟后籽粒脱水特性[J]. 江苏农业学报, 2020, 36(1): 10-17.

doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2020.01.002

## 玉米生理成熟后籽粒脱水特性

赵波, 吴雅薇, 李小龙, 袁继超, 孔凡磊

(四川农业大学农学院/农业部西南作物生理生态与耕作重点实验室, 四川 成都 611130)

**摘要:** 明确玉米生理成熟后籽粒脱水特性及各器官脱水的关系, 对加快玉米生理成熟后籽粒脱水速率和选育籽粒脱水速率快的品种具有重要意义。试验选用4个品种, 从生理成熟期开始至生理成熟后31 d止, 连续测定籽粒、穗轴、苞叶+果柄、叶片和茎秆的含水率, 并分析生理成熟后籽粒脱水特性及其与各器官含水率的关系。结果表明, 参试品种籽粒含水率降至28%所需生理成熟后积温及天数分别为197.08~353.32 °C·d和7.3~12.9 d。籽粒含水率与其他器官含水率均呈极显著线性关系, 籽粒脱水速率与穗轴脱水速率呈极显著正相关, 与其他器官脱水速率相关性不显著。说明, 合理的品种选择和缩短玉米生理成熟后籽粒脱水前期的持续时间可有效加快生理成熟后籽粒脱水, 降低玉米生理成熟期籽粒含水率降至28%或25%所需积温; 评价适宜机械粒收品种时, 在关注籽粒脱水特性的同时需关注穗轴的脱水特性。

**关键词:** 玉米; 生理成熟; 籽粒脱水; logistic 模型

**中图分类号:** S513

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-4440(2020)01-0010-08

## Dehydration characteristics of maize grain after physiological maturity

ZHAO Bo, WU Ya-wei, LI Xiao-long, YUAN Ji-chao, KONG Fan-lei

(College of Agronomy, Sichuan Agricultural University/Key Laboratory of Crop Physiology, Ecology and Cultivation in Southwest China, Ministry of Agriculture, Chengdu 611130, China)

**Abstract:** It is of great significance to clarify the dehydration characteristics of maize grains after physiological maturity and the relationship with dehydration of various organs for speeding up the dehydration rate of maize grains after physiological maturity and breeding varieties with fast dehydration rate. Four varieties were selected to determine the moisture content of grain, cob, bract + stalk, leaf and stem from the beginning of physiological maturity to 31 days after physiological maturity. In addition, the dehydration characteristics of grains after physiological maturation and their relationship with water content of organs were analyzed. The results showed that moisture content of the tested varieties decreased to 28%. The accumulated temperature after physiological maturity and days were 197.08–353.32 °C·d and 7.3–12.9 d. The grain moisture content showed a very significant linear relationship with the moisture content of other organs, the grain dehydration rate was significantly positively correlated with the dehydration rate of cob, but had no significant relationship with the dehydration rate of other organs. Therefore, reasonable variety selection and shortening the duration of grain dehydration in early stage after physiological maturity of maize can effectively speed up grain dehydration after physiological maturity and reduce the accumu-

lated temperature required for moisture content of physiological maturity to 28% or 25%. To evaluate varieties suitable for mechanical grain harvest, we should pay attention to the dehydration characteristics of cob as well as the dehydration characteristics of grain.

**Key words:** maize; physiological maturity; grain dehydration; logistic model

收稿日期: 2019-06-22

基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFD0300307、2017YFD030170)

作者简介: 赵波(1994-), 男, 四川绵阳人, 硕士研究生, 研究方向为玉米机械化籽粒直收技术。(E-mail) sicauzb4633@163.com

通讯作者: 孔凡磊, (Tel) 18628222445

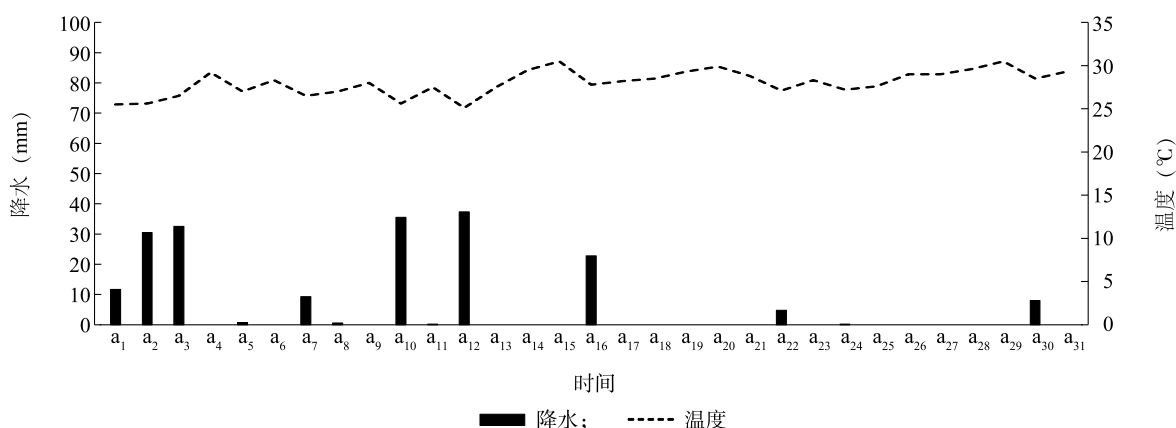
籽粒破碎率高是当前中国玉米机械化粒收存在的主要问题,收获时籽粒含水率偏高是导致破碎率高的主要原因<sup>[1-2]</sup>,玉米收获时籽粒含水率高是限制中国玉米机械粒收的主要因素<sup>[3-4]</sup>。加快生理成熟后玉米籽粒脱水是适时机收的关键,因此研究生理成熟后籽粒脱水特性及其影响因素对加快生理成熟后籽粒脱水和选育籽粒脱水快的品种,推动机械粒收技术发展具有重要意义。玉米籽粒含水率从籽粒建成后呈现逐渐降低的趋势<sup>[5]</sup>,籽粒含水率与授粉后积温的关系符合 Logistic Power 模型<sup>[6]</sup>。李璐璐等<sup>[7]</sup>的研究结果表明,玉米籽粒含水率的变化分为 2 个阶段,在生理成熟后含水率的变化主要受籽粒水分散失速率的影响。不同品种生理成熟后籽粒脱水速率有明显差异<sup>[8-9]</sup>。雷蕾等<sup>[10]</sup>研究发现,生理成熟后玉米籽粒前期脱水速率>中期脱水速率>后期脱水速率。前人对生理成熟后籽粒脱水速率的影响因素分析得出,生理成熟后籽粒脱水速率受粒型、籽粒淀粉含量、气象因素、栽培措施的影响<sup>[8,10]</sup>。苞叶层数少、果穗长度短、松紧度低的品种籽粒脱水速率快<sup>[11-13]</sup>,穗粒数少、果穗长度/行粒数小有利于籽粒脱水,而其他穗部性状与籽粒脱水相关性不显著<sup>[14]</sup>。张春荣等<sup>[15]</sup>的研究结果表明,收获期的籽粒含水率与穗轴直径呈显著负相关,张立国等<sup>[9]</sup>研究发现,穗粗与生理成熟后籽粒脱水速率呈显著正相关。前人主要研究了从授粉后不久籽粒脱水的特性并且研究主要集中于果穗的相关性状对生理成熟

后籽粒脱水的影响,而对生理成熟后玉米籽粒脱水特性缺乏系统的研究。本研究采用模型拟合生理成熟后籽粒含水率与积温的关系,预测生理成熟后籽粒含水率的变化;分析生理成熟后籽粒、穗轴、苞叶+果柄、叶片和茎秆的含水率变化,建立生理成熟后籽粒含水率与其他器官含水率的关系。通过本研究,建立生理成熟后籽粒含水率的预测模型,进一步明确生理成熟后籽粒含水率与其他器官含水率的关系及影响生理成熟后籽粒脱水的主要因素,为加快生理成熟后籽粒脱水和适宜机械化粒收的品种选育提供科学的理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验设计

试验于 2018 年在四川省德阳市中江县合兴乡新建村(31°03'N, 104°68'E)进行。土壤类型为紫色壤土。试验采用大区种植,选用正红 6 号(ZH6)、仲玉 3 号(ZY3)、先玉 1171(XY1171)、成单 30(CD30)4 个品种,分带种植,每带 3 行(行距 60 cm,带间距 120 cm,每个品种种植 2 带,带长 75 m),种植密度每 1 hm<sup>2</sup>为 60 000 株。肥料用量为纯氮 180.0 kg/hm<sup>2</sup>、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 45.0 kg/hm<sup>2</sup>和 K<sub>2</sub>O 67.5 kg/hm<sup>2</sup>,氮肥于播种时施入 60%,大口期施入 40%,磷、钾肥全部基施。播种日期:2018 年 4 月 8 日,人工播种,田间管理同当地实际生产。生理成熟后密切关注各品种各器官的脱水情况。试验气象数据见图 1。



a<sub>1</sub>:08-01; a<sub>2</sub>:08-02; a<sub>3</sub>:08-03; a<sub>4</sub>:08-04; a<sub>5</sub>:08-05; a<sub>6</sub>:08-06; a<sub>7</sub>:08-07; a<sub>8</sub>:08-08; a<sub>9</sub>:08-09; a<sub>10</sub>:08-10; a<sub>11</sub>:08-11; a<sub>12</sub>:08-12; a<sub>13</sub>:08-13; a<sub>14</sub>:08-14; a<sub>15</sub>:08-15; a<sub>16</sub>:08-16; a<sub>17</sub>:08-17; a<sub>18</sub>:08-18; a<sub>19</sub>:08-19; a<sub>20</sub>:08-20; a<sub>21</sub>:08-21; a<sub>22</sub>:08-22; a<sub>23</sub>:08-23; a<sub>24</sub>:08-24; a<sub>25</sub>:08-25; a<sub>26</sub>:08-26; a<sub>27</sub>:08-27; a<sub>28</sub>:08-28; a<sub>29</sub>:08-29; a<sub>30</sub>:08-30; a<sub>31</sub>:08-31。

图 1 生理成熟期至测定结束时的降水、温度

Fig.1 Precipitation and temperature from physiological maturity to the end of measurement

## 1.2 测定项目及计算方法

1.2.1 含水率测定 详细观测各品种的生育进程,在玉米吐丝期,分别选取生长一致、无病虫害、有代表性的植株 200 株挂牌标记。分别于生理成熟期(以乳线消失、黑色层完全形成作为判定依据)、生理成熟后 7 d、生理成熟后 13 d、生理成熟后 19 d、生理成熟后 25 d、生理成熟后 31 d,每个品种取 15 株挂牌植株,将植株分为籽粒、穗轴、苞叶+果柄、叶片、茎 1(茎基部至穗下第二节)、茎 2(穗位上下两节)、茎 3(穗位上第二节至雄穗),分别称鲜质量,然后在烘箱中 85 ℃ 烘干至恒质量后称取各部分的干质量。

1.2.2 含水率计算 含水率=(鲜质量-干质量)/鲜质量×100%

1.2.3 各测定时期间器官脱水速率 各测定时期间器官脱水速率[%(℃·d)]= (前一时期器官平均含水率(%)-后一时期器官平均含水率(%))/两时期期间累计积温(℃·d)。

1.2.4 籽粒含水率变化模型 为了进一步明确生理成熟后籽粒含水率变化的趋势,本研究对生理成熟后积温与籽粒含水率的关系进行分析,建立两者的回归关系模型,以生理成熟后积温( $T$ )为自变量,每次取样测定的籽粒含水率( $W$ )为因变量,根据籽粒含水率与积温的散点图分布形态,选用 Logistic 模型进行回归分析,模型如下:

$$W = \frac{A1 - A2}{1 + \left(\frac{T}{X_0}\right)^P} + A2$$

式中  $A1$ 、 $A2$ 、 $X_0$ 、 $P$  为模型参数,  $A1$  为生理成熟期的籽粒含水率,  $A2$  为籽粒脱水截止的含水率, 为了加强模型的拟合程度, 本研究将  $A1$  参数固定, 根据决定系数( $R^2$ )来评价模型拟合度。划分脱水过

程的前期、中期、后期,脱水速率方程( $G$ )具有 2 个拐点,求其对  $t$  的二阶导数,并令其为零,可得到其中的  $t1$ ,  $t1$  表示进入快速脱水期的时间。

$$t1 = \left[ \frac{2X_0^P(P^2-1) - X_0^P P \sqrt{3P^2-3}}{(P+1)(P+2)} \right]^{\frac{1}{P}}$$

## 1.3 数据处理

采用 Excel 2013 对数据进行处理,采用 DPS 7.5 软件对数据进行统计分析,采用 Origin 9.0 软件进行生理成熟后籽粒含水率动态变化的曲线拟合。

## 2 结果与分析

### 2.1 生理成熟后籽粒含水率变化及其与积温的关系

生理成熟后籽粒含水率随着时间推进呈现先缓慢降低再快速下降最后逐渐趋于平缓的变化趋势(图 2)。利用 Logistic 方程对不同品种生理成熟后籽粒含水率与积温进行拟合建立回归模型,方程参数见表 1,拟合度( $R^2$ )值为 0.944~0.994。

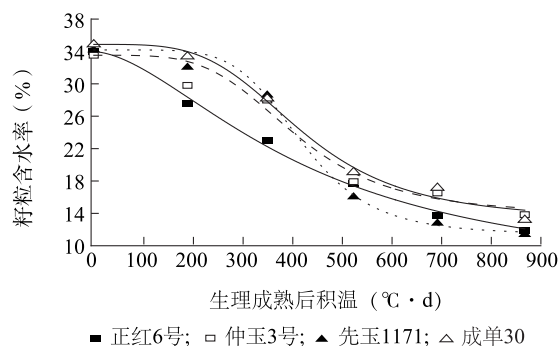


图 2 生理成熟后籽粒含水率预测模型

Fig.2 Prediction model of grain moisture content after physiological maturity

表 1 不同品种的 Logistic 模型拟合参数及结果

Table 1 Fitting parameters and results of logistic models for different cultivars

品种	A1 (%)	A2 (%)	$X_0$	$P$	$R^2$	$t1$ (h)	生理成熟期籽粒含水率降至 28% 所需积温 (℃·d)/天数 (d)	生理成熟期籽粒含水率降至 25% 所需积温 (℃·d)/天数 (d)
ZH6	33.94	5.44	432.939	1.697	0.994	135.22	197.08/7.3	272.80/10.0
ZY3	33.50	10.63	450.843	2.799	0.944	352.24	298.83/10.9	373.62/13.6
XY1171	34.15	11.21	421.233	5.711	0.987	423.68	353.32/12.9	392.04/14.2
CD30	34.83	11.76	442.025	3.408	0.986	390.19	342.85/12.5	405.06/14.7

ZH6、ZY3、XY1171、CD30 分别表示正红 6 号、仲玉 3 号、先玉 1171、成单 30。A1:生理成熟期籽粒含水率;A2:籽粒脱水截止时含水率; $X_0$ 和  $P$  为模型参数。 $R^2$ :决定系数; $t1$ :籽粒进入快速脱水的时间。

从表 1 可以看出,各参试品种达到生理成熟时的含水率(AI)差异较小。不同品种生理成熟后籽粒脱水的进程存在明显差异,品种间  $t_1$  的变异系数为 39.98%,ZH6 最先进入快速脱水期。基于生理成熟后玉米籽粒含水率与积温建立的回归模型及生理成熟后天数与积温的关系(图 3),以适宜机械化粒收的籽粒含水率(28%、25%)为标准,当籽粒含水率降至 28% 各品种所需生理成熟后积温及天数分别为 197.08~353.32  $^{\circ}\text{C} \cdot \text{d}$  和 7.3~12.9 d,当籽粒含水率降至 25% 各品种所需生理成熟后积温及天数分别为 272.80~405.06  $^{\circ}\text{C} \cdot \text{d}$  和 10.0~14.7 d,均以 ZH6 籽粒含水率最先降至 28%、25%。将  $t_1$  与生理成熟期籽粒含水率降至 28% 的积温和生理成熟期籽粒含水率降至 25% 的积温进行相关性分析发现, $t_1$  与生理成熟期籽粒含水率降至 28% 的积温和生理成熟期籽粒含水率降至 25% 的积温均呈极显著正相关,相关系数分别为 0.99、0.98,说明缩短生理成熟后籽粒脱水前期的持续时间是加快生理成熟后籽粒脱水,降低生理成熟期籽粒含水率降至 28% (25%) 所需积温(时间)的有效措施。

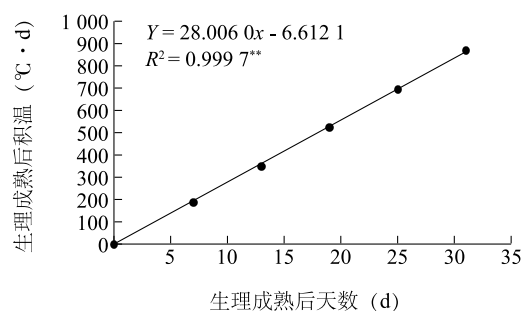
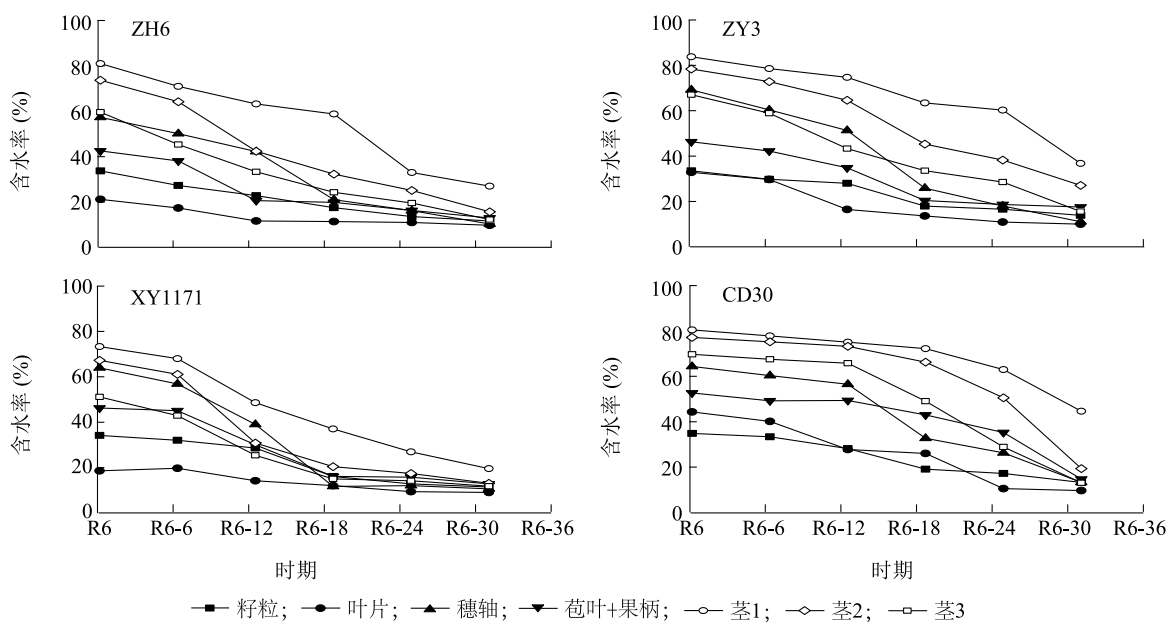


图 3 生理成熟后天数与积温的关系

Fig.3 The relationship between days after physiological maturity and accumulated temperature

## 2.2 生理成熟后各器官含水率及脱水进程

生理成熟后玉米植株各器官含水率均表现出逐渐降低的变化趋势。从图 4 可以看出,各品种生理成熟期茎秆和穗轴的含水率均最高,籽粒和叶片的含水率最低,生理成熟后茎 1 和茎 2 的含水率在各时期均最高。在生理成熟期至生理成熟期后 13 d,各品种器官含水率表现为穗轴>苞叶+果柄>籽粒,之后规律不明显。茎秆的脱水进程在品种间存在明显差异,在生理成熟后 19 d,仲玉 3 号和成单 30 的茎秆含水率明显高于其他 2 个品种。



ZH6、ZY3、XY1171、CD30 见表 1 注。R6:生理成熟期;R6-6:生理成熟后 6 d;R6-12:生理成熟后 12 d;R6-18:生理成熟后 18 d;R6-24:生理成熟后 24 d;R6-30:生理成熟后 30 d。

图 4 不同品种各器官生理成熟后含水率变化

Fig.4 Changes of moisture content in organs of different cultivars after physiological maturity

从表 2 可以看出,玉米籽粒、穗轴在生理成熟后

13~19 d 的脱水速率最大(所有参试品种表现一

致),而苞叶+果柄、叶片、茎 3 在生理成熟后 7~13 d 的脱水速率最大,茎 1 则在生理成熟后 25~31 d 的脱水速率最大。籽粒在生理成熟后的脱水速率呈现先增加后逐渐降低的趋势,穗轴和苞叶+果柄则表现出先逐渐增加后降低再增加的趋势。各器官在生理成熟后不同时期的脱水速率在品种间存在一定的

差异,正红 6 号籽粒的最大脱水速率发生在生理成熟期至生理成熟期后 7 d,而仲玉 3 号、先玉 1171、成单 30 则在生理成熟后 13 d 至生理成熟后 19 d 期间的籽粒脱水速率最大,说明玉米植株生理成熟后的籽粒脱水存在明显的基因型效应。

表 2 各器官生理成熟后各时期的脱水速率

Table 2 Dehydration rate of organs at different stages after physiological maturity

时期	品种	脱水速率 [ %/(℃·d) ]						
		籽粒	穗轴	苞叶+果柄	叶片	茎 1	茎 2	茎 3
R6~R6-7	ZH6	0.033 8	0.038 1	0.023 5	0.020 2	0.053 2	0.050 3	0.075 7
	ZY3	0.019 7	0.046 8	0.021 6	0.016 9	0.027 6	0.029 6	0.043 2
	XY1171	0.011 4	0.037 6	0.006 2	0.005 7	0.028 1	0.032 7	0.043 8
	CD30	0.007 9	0.021 3	0.017 6	0.022 1	0.014 1	0.010 3	0.011 6
R6-7~R6-13	ZH6	0.028 2	0.049 2	0.108 8	0.035 6	0.048 2	0.135 7	0.074 8
	ZY3	0.011 3	0.056 5	0.046 0	0.082 3	0.024 2	0.050 9	0.097 1
	XY1171	0.021 3	0.110 9	0.093 7	0.027 4	0.121 0	0.188 5	0.109 0
	CD30	0.032 3	0.024 0	0.020 7	0.077 3	0.017 1	0.012 2	0.010 9
R6-13~R6-19	ZH6	0.030 3	0.121 9	0.004 6	0.001 3	0.025 7	0.058 1	0.052 0
	ZY3	0.057 8	0.163 1	0.083 0	0.016 4	0.064 8	0.111 2	0.056 2
	XY1171	0.072 1	0.155 3	0.080 0	0.012 5	0.066 6	0.059 8	0.059 8
	CD30	0.052 2	0.137 0	0.017 5	0.010 0	0.016 2	0.040 4	0.096 1
R6-19~R6-25	ZH6	0.023 3	0.028 6	0.021 2	0.002 6	0.152 7	0.042 5	0.028 2
	ZY3	0.008 2	0.010 6	0.010 3	0.016 1	0.018 7	0.041 6	0.029 5
	XY1171	0.019 2	0.000 9	0.002 3	0.015 6	0.024 8	0.017 8	0.004 9
	CD30	0.011 4	0.038 1	0.045 9	0.091 5	0.054 8	0.092 9	0.119 6
R6-25~R6-31	ZH6	0.011 1	0.033 4	0.018 8	0.007 0	0.034 2	0.053 8	0.041 5
	ZY3	0.015 2	0.057 4	0.006 3	0.005 1	0.133 7	0.063 5	0.073 9
	XY1171	0.007 9	0.007 2	0.016 6	0.002 0	0.033 8	0.024 6	0.013 6
	CD30	0.022 4	0.074 0	0.116 9	0.005 1	0.104 2	0.177 4	0.089 8

R6、R6-7、R6-13、R6-19、R6-25、R6-31 分别表示:生理成熟期、生理成熟后 7 d、生理成熟后 13 d、生理成熟后 19 d、生理成熟后 25 d、生理成熟后 31 d。

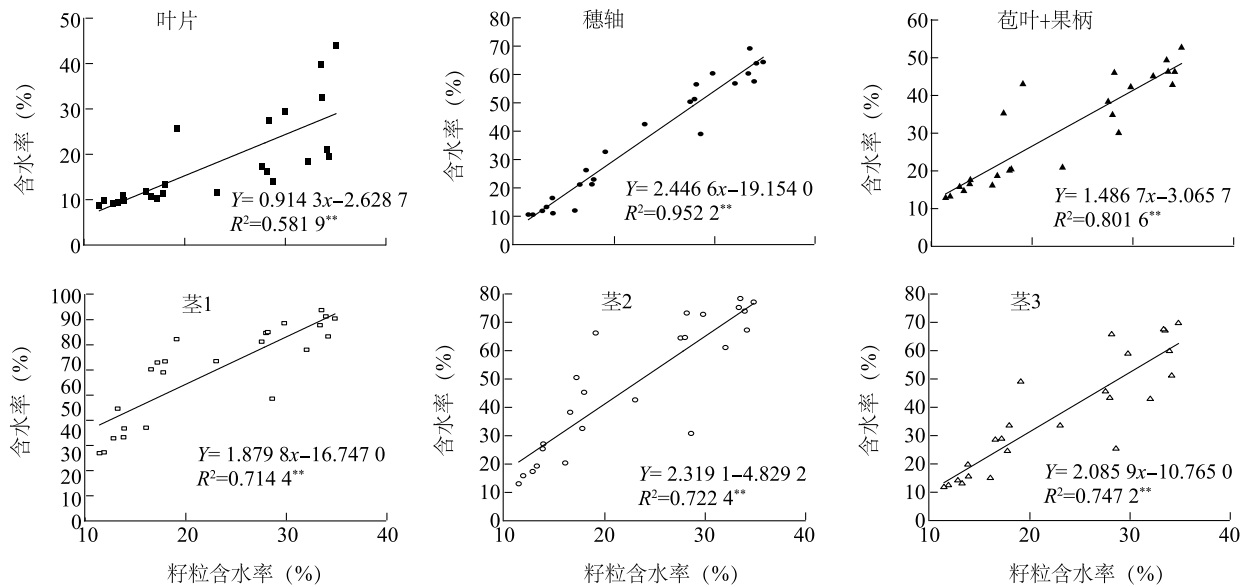
### 2.3 生理成熟后籽粒与其他器官脱水特性的关系

对生理成熟后籽粒含水率与其他器官含水率进行相关性拟合,从图 5 可以看出,生理成熟后籽粒含水率与其他器官含水率均呈极显著线性关系 ( $R^2 \geq 0.581 9$ ),其中与穗轴、苞叶+果柄的拟合度最高 ( $R^2 = 0.952 2$ 、 $R^2 = 0.801 6$ ),从表 3 可以看

出,不同参试品种间在籽粒含水率与其他器官含水率的相关性差异极小,表明生理成熟后各器官的脱水具有一定的同步性,这是玉米的一个共性规律。对生理成熟后籽粒与其他器官脱水速率进行相关性分析,结果(表 4)表明,籽粒脱水速率与穗轴脱水速率呈极显著正相关 ( $R^2 = 0.83$ ),与其他

器官脱水速率无显著相关关系,这表明生理成熟后玉米籽粒与穗轴脱水的同步程度最高,进一步

证明了穗轴及苞叶+果柄的脱水特性决定了籽粒的脱水快慢。



\*\* 表示在 0.01 水平上差异显著。

图 5 籽粒与其它器官含水率的关系

Fig.5 The relationship between moisture content of grains and other organs

表 3 各参试品种生理成熟后籽粒与其它器官含水率相关性分析

Table 3 Analysis of correlation between moisture content in grains and other organs of tested cultivars after physiological maturity

品种	叶片	穗轴	苞叶+果柄	茎 1	茎 2	茎 3
ZH6	0.93 **	0.98 **	0.95 **	0.95 **	0.90 **	0.89 **
ZY3	0.91 **	1.00 **	0.99 **	0.91 **	0.98 **	0.96 **
XY1171	0.95 **	0.98 **	0.97 **	0.95 **	0.92 **	0.94 **
CD30	0.95 **	0.99 **	0.86 *	0.86 *	0.85 *	0.94 **

ZH6、ZY3、XY1171、CD30 见表 1 注。\*\*表示在 0.01 水平上差异显著,\*表示在 0.05 水平上差异显著。

表 4 生理成熟后各器官脱水速率相关性分析

Table 4 Correlation analysis of organ dehydration rate after physiological maturity

	籽粒	穗轴	苞叶+果柄	叶片	茎 1	茎 2	茎 3
籽粒	1.00	0.83 **	0.36	-0.14	0.04	0.14	0.19
穗轴		1.00	0.46 *	-0.17	0.14	0.41 *	0.48 *
苞叶+果柄			1.00	0.17	0.36	0.86 *	0.55 **
叶片				1.00	0.36	0.86 **	0.55 **
茎 1					1.00	0.54 **	0.31
茎 2						1.00	0.68 **
茎 3							1.00

\* 和 \*\* 分别表示在 0.05 和 0.01 水平上显著相关。

### 3 讨论

#### 3.1 玉米生理成熟后籽粒脱水特性

玉米生理成熟前籽粒含水率变化与籽粒灌浆同步进行,主要受籽粒灌浆的影响,而生理成熟后籽粒的脱水主要受脱水特性的控制,水分散失速率是决定因素<sup>[7, 16-17]</sup>。Cross<sup>[18]</sup>研究发现,玉米籽粒生理成熟前为生理脱水,主要受内部生长发育的控制,受环境的影响较小,生理成熟后为自然脱水,受环境因素的影响较大。生理成熟后籽粒脱水速率与温度、风速、降雨有关<sup>[19]</sup>。本研究将玉米生理成熟后的籽粒含水率与积温进行回归模型拟合,模型拟合精度高。对4个品种建立的回归模型进行分析发现,当前参试品种在籽粒含水率降至28%所需生理成熟后积温及天数分别为197.08~353.32 °C·d和7.3~12.9 d,积温差为156.24 °C·d,籽粒含水率降至25%时所需生理成熟后积温及天数分别为272.80~405.06 °C·d和10.0~14.7 d,积温差为132.26 °C·d,李璐璐等<sup>[7]</sup>的研究结果表明,在黄淮海地区籽粒含水率降至28%所需的授粉后积温在参试品种间相差达520 °C·d,降至25%所需的授粉后积温在参试品种间相差达592 °C·d,表明不同玉米品种籽粒脱水存在显著差异,通过选择生理成熟后脱水快的品种可有效缓解当前中国玉米机械粒收时籽粒含水率过高的问题,特别是西南玉米生产区。

选育适当早熟、脱水速率快的品种是中国各大玉米生产区实现机械化粒收的关键措施<sup>[8]</sup>。国外适宜机械化粒收的玉米品种在生理成熟期的籽粒含水率仅为22%~23%,收获时含水率甚至降至15%<sup>[20]</sup>。中国目前大面积主推品种在生理成熟期的籽粒含水率多在30%以上,本研究参试品种在生理成熟期的籽粒含水率均在33%以上,因此加快玉米生理成熟后籽粒脱水以及选育生理成熟后籽粒脱水快的品种是实现玉米高效机械粒收的重要举措。本研究发现,生理成熟后籽粒脱水快的品种进入快速脱水期的时间 $t_1$ 明显小于其他品种,表明缩短生理成熟后籽粒脱水前期的持续时间,将 $t_1$ 提前可以有效地加快生理成熟后籽粒的脱水,降低玉米生理成熟后籽粒含水率降至28%或25%所需积温,因此适宜机械粒收的玉米品种应具有生理成熟后脱水前期持续时间短的特点。

#### 3.2 生理成熟后籽粒与其他器官脱水特性的关系

不同玉米品种的籽粒、苞叶和穗轴含水量两两间极显著相关,然而脱水速率却相关性不显著<sup>[21]</sup>。贾琳等<sup>[22]</sup>的研究结果表明,籽粒脱水速率与苞叶脱水速率和含水率显著相关,与穗轴脱水速率和含水率相关性不显著。本研究结果显示,生理成熟后籽粒含水率与其他各器官含水率间呈极显著线性关系,与穗轴含水率的拟合度最高,生理成熟后玉米籽粒脱水速率与穗轴脱水速率极显著正相关,与前人的研究结果不尽相同,这可能是由于前人在研究玉米器官脱水时始于籽粒灌浆时期,该时期籽粒含水率的变化主要受灌浆的影响变化较快,而本研究始于生理成熟期,籽粒和其他器官均表现为开始逐渐脱水。籽粒在生理成熟后的脱水速率呈现先增加后逐渐降低的趋势,穗轴和苞叶+果柄则表现出先逐渐增加后降低再增加的趋势,这可能是由于生理成熟后籽粒与穗轴和苞叶+果柄的脱水存在水分的转运,而籽粒脱水的末期由于含水率低,此时水分转运减弱或停止,从而穗轴和苞叶+果柄的脱水速率又呈现出一个高峰。生理成熟后籽粒的脱水与玉米植株各器官的脱水存在密切的关系,整个植株在生理成熟后是一个各器官脱水的组合体,各器官间可能存在一定的水分转运。因此在选育生理成熟后玉米籽粒脱水快的品种时应考虑其他器官的脱水特性,尤其是穗轴和苞叶应具有快速脱水的特性。

#### 参考文献:

- [1] 李少昆. 我国玉米机械粒收质量影响因素及粒收技术的发展方向[J]. 石河子大学学报(自然科学版), 2017, 35(3): 265-272.
- [2] 柴宗文,王克如,郭银巧,等. 玉米机械粒收质量现状及其与含水率的关系[J]. 中国农业科学, 2017, 50(11): 2036-2043.
- [3] 柳枫贺,王克如,李健,等. 影响玉米机械粒收质量因素的分析[J]. 作物杂志, 2013(4): 116-119.
- [4] 谢瑞芝,雷晓鹏,王克如,等. 黄淮海夏玉米籽粒机械收获研究初报[J]. 作物杂志, 2014(2): 76-79.
- [5] 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.
- [6] 高尚,明博,李璐璐,等. 黄淮海夏玉米籽粒脱水与气象因子的关系[J]. 作物学报, 2018, 44(12): 1755-1763.
- [7] 李璐璐,明博,高尚,等. 夏玉米籽粒脱水特性及与灌浆特性的关系[J]. 中国农业科学, 2018, 51(10): 1878-1889.
- [8] 王克如,李少昆. 玉米籽粒脱水速率影响因素分析[J]. 中国农业科学, 2017, 50(11): 2027-2035.
- [9] 张立国,范骥骥,陈喜昌,等. 玉米生理成熟后籽粒脱水速率与

- 主要农艺性状的相关分析[J]. 黑龙江农业科学, 2012(3):1-5.
- [10] 雷 蕾,王威振,方 伟,等. 影响夏玉米生理成熟后籽粒脱水的相关因素分析[J]. 玉米科学, 2016, 24(3):103-109.
- [11] CAVALIERI A J, SMITH O S. Grain filling and field drying of a set of maize hybrids released from 1930 to 1982 [J]. Crop Science, 1985, 25(5): 856-860.
- [12] KANG M S, ZUBER M S, COLBERT T R, et al. Effects of certain agronomic traits on and relationship between rates of grain-moisture reduction and grain fill during the filling period in maize [J]. Field Crops Research, 1986, 14(4): 339-347.
- [13] CRANE P L, MILES S R, NEWMAN J E. Factors associated with varietal differences in rate of field drying in corn1[J]. Agronomy Journal, 1959, 51(6): 318-320.
- [14] 李璐璐,明 博,谢瑞芝,等. 玉米品种穗部性状差异及其对籽粒脱水的影响[J]. 中国农业科学, 2018, 51(10): 1855-1867.
- [15] 张春荣,岳竞之,张 莉,等. 玉米籽粒含水量与穗部性状的相关分析[J]. 玉米科学, 2007, 15(1): 59-61.
- [16] 万泽花,任佰朝,赵 斌,等. 不同熟期夏玉米品种籽粒灌浆与脱水特性及其密度效应[J]. 作物学报, 2018, 44(10): 1517-1526.
- [17] 卫勇强,雷晓兵,梁晓伟,等. 不同夏玉米品种籽粒自然脱水速率的研究[J]. 江苏农业科学, 2011, 39(6): 167-168.
- [18] CROSS H Z. Leaf expansion rate effects on yield and yield components in early-maturing maize[J]. Crop Science, 1991, 31(3): 579-583.
- [19] BROOKING I R. Maize ear moisture during grain-filling, and its relation to physiological maturity and grain-drying[J]. Field Crops Research, 1990, 23(1): 55-68.
- [20] HADI G, KÁSA S, RÁCZ F. Changes in the water content of maize varieties after physiological maturity[J]. Acta Agronomica Hungarica, 2015, 57(1): 41-46.
- [21] 赵红香,张 慧,孙旭东,等. 不同基因型夏玉米果穗脱水特性综合评价[J]. 山东农业科学, 2014, 46(12): 18-22.
- [22] 贾 琳,李凤海,刘珈伶,等. 适宜机械粒收玉米品种脱水特性及相关性状研究[J]. 玉米科学, 2019, 27(12): 136-141.

(责任编辑:陈海霞)