

玉米品种耐淹形态指标筛选及其耐淹光合生理特性研究

王成雨¹, 宋贺¹, 胡玲惠², 李金才¹, 肖伟伟¹, 刘国勇¹, 程备久^{3*}

(1. 安徽农业大学农学院, 合肥 230036; 2. 阜南县农业科学研究所, 阜阳 236300; 3. 安徽农业大学生命科学学院, 合肥 230036)

摘要: 在大田条件下, 以 16 个生产上主推玉米品种为材料, 对玉米品种耐淹性进行了鉴定, 并探讨了不同耐淹型品种的光合生理差异。结果表明, 淹水后玉米穗粒数下降, 千粒重上升, 产量下降; 根据产量与相对受害率的关系, 16 个玉米品种可以分为高产耐淹型、低产耐淹型、低产不耐淹型和高产不耐淹型 4 类; 叶片重、根冠比和叶茎比可以作为衡量玉米品种耐淹能力的重要形态指标; 高产耐淹型玉米品种在不淹水和淹水条件下, 均表现为开花期最早; 高产耐淹型玉米品种叶绿素含量和光合速率在淹水后 10 d 已经与对照无显著差异, 显著高于其他 3 类品种。

关键词: 玉米; 品种; 耐淹性; 形态指标; 光合

中图分类号: S513

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X (2014)04-0533-07

Screening for cultivars with water-logging resistance through analyzing morphological indexes and photosynthetic characteristics in maize

WANG Chengyu¹, SONG He¹, HU Linghui², LI Jincal¹, XIAO Weiwei¹, LIU Guoyong¹, CHENG Beijiu³

(1. School of Agronomy, Anhui Agricultural University, Hefei 230036;

2. Fu'nan County Agricultural Science Research Institute, Fuyang 236300;

3. School of Life Science, Anhui Agricultural University, Hefei 230036)

Abstract: Sixteen maize cultivars widely planted in China were compared for their water-logging resistance and photosynthetic physiology under field conditions. The results showed that 1000-grain weight increased but the yield and grain number per spike reduced after water-logging. According to the relation between yield and relative injury rate in maize, 16 maize cultivars could be classified into 4 groups: group 1 with higher yield and high tolerance to water-logging, group 2 with lower yield and high tolerance to water-logging, group 3 with lower yield and low tolerance to water-logging and group 4 with higher yield and low tolerance to water-logging. The leaf weight, the root cap ratio and the leaf culm ratio can be used as the morphological indexes to measure the water-logging resistance in maize. The maize cultivars belonged to group 1 bloomed earlier no matter water-logging stress existed or not. The chlorophyll contents and the photosynthetic rates had no significant difference compared to the control in group 1 after 10 days water-logging, but they were significant higher than those of the other groups.

Key words: maize; cultivar; water-logging resistance; morphological index; photosynthetic

近年来, 玉米在江淮流域种植面积不断扩大。然而, 江淮流域每年 6 月中旬进入梅雨季节, 雨量很大, 容易造成玉米苗期涝害或渍害, 对玉米产量的影响很大^[1-3]。目前, 关于玉米淹水的研究多集中在淹水对玉米产量、生理变化等方面的影响^[4-5], 有关筛选和应用耐淹玉米品种及耐淹性评价指标方面

的研究尚未见报道。因此, 建立玉米耐淹性鉴定指标体系, 对现有生产上表现较好的丰产品种进行抗淹性鉴定及推广应用, 将产生巨大的经济、社会和生态效益。

本研究选用在全国玉米生产中大面积应用的 16 个玉米品种为材料, 系统研究和筛选了开花期玉

收稿日期: 2014-04-17

基金项目: 国家科技支撑计划 (2012BAD20B02), 公益性行业专项 (农业) 科研专项 (201203033) 和国家自然科学基金 (31371566) 共同资助。

作者简介: 王成雨, 讲师。

* 通信作者: 程备久, 博士, 教授, 博士生导师。E-mail: cbj@ahau.edu.cn

米抗淹性鉴定指标,探讨了抗涝耐淹玉米品种与不耐淹品种的形态和光合生理差异,以期为玉米抗涝耐淹育种与栽培提供理论参考和技术支持。

1 材料与方 法

1.1 供试材料

供试材料为 16 个目前生产上主推玉米品种:隆平 206(LP₂₀₆)、郑单 958(ZD₉₅₈)、浚单 20(XD₂₀)、中科 11(ZK₁₁)、农单 5 号(ND₅)、鲁单 981(LD₉₈₁)、蠡玉 16(LY₁₆)、先玉 335(XY₃₃₅)、安农 8 号(AN₈)、中单 909(ZD₉₀₉)、济单 7 号(JD₇)、安农 9 号(AN₉)、蠡玉 35(LY₃₅)、蠡玉 81(LY₈₁)、农华 101(NH₁₀₁)和登海 605(DH₆₀₅)。

1.2 试验设计

试验于 2013 年在安徽省阜南县农业科学研究所进行,土壤类型为砂姜黑土,0~20 cm 土壤有机质含量 16.8 g·kg⁻¹,全氮为 1.53 g·kg⁻¹,碱解氮为 83.2 mg·kg⁻¹,速效磷为 56.5 mg·kg⁻¹,速效钾为 78.7 mg·kg⁻¹,pH 为 6.98。

以不淹水(W₀)为对照,16 个品种的淹水处理(W₁)在 3 叶 1 心期连续淹水 72 h,淹水深度高于地面 1cm 左右。小区面积 28 m²(7 行区收获 5 行,行距 60 cm),重复 3 次。2013 年 6 月 10 日播种,施纯 N 240 kg·hm⁻²、P₂O₅ 105 kg·hm⁻²、K₂O 105 kg·hm⁻²,N 肥 50%和全部 P, K 肥基施,50%N 大喇叭口期追施,种植密度 6000 株·hm⁻²。

1.3 测定方法

1.3.1 形态指标的测定 于散粉期调查 16 个玉米品种对照和淹水处理的开花期,每处理测定 30 株株高(Plant height; PH)。同时每处理取样 3 株,地上部分为茎和叶片 2 部分,地下部根系取样采用土壤剖面法,以植株为中心,垂直于行向,取长 60 cm×宽 20 cm 的面积,分层取 0~90 cm 土体(分 0~30 cm、30~60 cm 和 60~90 cm 3 层)。土壤挖出后,装入网袋,冲洗并剔除杂质,置于 80℃烘箱中烘至恒重,称量茎重、叶重及根重,并按以下公式计算生物产量、根冠比和叶茎比。

$$\text{生物产量}=\text{茎重}+\text{叶重} \quad (1)$$

$$\text{根冠比(R/C)}=\text{根重}/(\text{茎重}+\text{叶重}) \quad (2)$$

$$\text{叶茎比(L/S)}=\text{叶重}/\text{茎重} \quad (3)$$

1.3.2 相对受害率 玉米受害程度用相对受害率(relative injury rate; RIR)表示:

$$RIR=(\text{对照产量}-\text{淹水处理产量})/\text{对照产量} \times 100\% \quad (4)$$

1.3.3 叶绿素含量和光合速率的测定 参照吴进东等的方法^[6],自淹水 5 d 开始,选择晴朗无风的上午

(9:00-11:00),用日本产 SPAD-502 型叶绿素计和美国产 LI-6400 光合仪测定功能叶的净光合速率(Pn),每隔 5 d 测 1 次,共测定 5 次,每处理测定 10 片叶。鉴于图片的可视性,在文中“淹水对不同耐淹品种叶绿素含量(SPAD 值)的影响”和“淹水对不同耐淹品种光合速率的影响”部分,仅对各类代表性品种进行了作图。

1.3.4 产量测定 于成熟期每处理收获玉米果穗 30 穗,考种,测定穗粒数和籽粒干重,并折算单位面积产量。

1.4 试验统计

使用 SARS 软件进行统计分析和 Origin8.5 软件进行作图。

2 结果与分析

2.1 淹水对不同玉米品种产量及其构成和相对受害率的影响

由表 1 可知,不同品种在淹水和不淹水条件下均表现出产量差异,所有参试品种受淹后均表现为穗粒数减少,千粒重增加,产量降低。不淹水条件下农华 101 产量最高,达到 8128.9 kg·hm⁻²,中单 909 产量最低只有 7056.4 kg·hm⁻²;淹水条件下隆平 206 产量最高,达到 7493.6 kg·hm⁻²,安农 8 号次之,为 7463.6 kg·hm⁻²,农华 101 产量最低,为 5966.7 kg·hm⁻²。不同品种相对受害率(RIR)有差异,RIR 在 4.1%~26.6%之间,其中安农 8 号 RIR 最小,仅为 4.1%,而农华 101 RIR 高达 26.6%。

2.2 不同玉米品种耐淹性分类

根据产量与相对受害率的关系,16 个参试玉米品种可以分为 4 类(表 2):第 1 类品种为高产耐淹型品种,有安农 8 号、郑单 958 和隆平 206,这类品种不淹水条件下经济产量与高产品种产量差异不显著,淹水条件下产量最高,减产幅度最小,淹水后与不淹水相比 RIR 分别为 4.1%,4.4%和 4.4%。第 2 类品种为低产耐淹型品种,有中科 11、蠡玉 16 和中单 909,这类品种不淹水条件下经济产量显著低于高产品种,淹水后与不淹水相比产量下降幅度与第 1 类品种差异不显著,RIR 分别为 5.0%,4.9%和 5.1%。第 3 类品种为低产不耐淹型品种,有济单 7 号、农单 5 号和蠡玉 81,这类品种不淹水条件下经济产量显著低于高产品种,淹水后与不淹水相比产量下降幅度显著低于第 1 类和第 2 类品种,RIR 分别为 8.3%、10.8%和 9.2%。第 4 类品种为高产不耐淹型品种,有蠡玉 35、鲁单 981、安农 9 号、浚单 20、蠡玉 81、登海 605、先玉 335 和农华 101,

这类品种不淹水条件下经济产量最高, 但淹水后经济产量下降幅度显著降低低于前 3 类品种, 淹水后与不淹水相比 RIR 在 22.4%~26.6% 范围内变动。

2.3 不同玉米品种抽雄期形态特征

由表 3 可知, 第 1 类玉米品种株高在 240 cm 以下, 生物产量在 149.1~151.3 g·p⁻¹ 之间, 根系重量在 24.9~25.1 g·p⁻¹, 茎秆重量在 105.1~111.2 g·p⁻¹ 之间, 叶片重在 40.1~44.8 g·p⁻¹ 之间, 根冠比在 0.165~0.169 之间, 叶茎比在 0.361~0.427 之间; 第 2 类玉米品种株高在 240 cm 以下, 生物产量在 137.1~149.0 g·p⁻¹ 之间, 根系重量在 18.6~19.7 g·p⁻¹, 茎秆重量在 105.2~121.4 g·p⁻¹ 之间, 叶片重

在 27.6~31.9 g·p⁻¹ 之间, 根冠比在 0.125~0.144 之间, 叶茎比在 0.228~0.304 之间; 第 3 类玉米品种株高在 240 cm 以上, 生物产量在 152.0~163.9 g·p⁻¹ 之间, 根系重量在 20.8~27.1 g·p⁻¹, 茎秆重量在 122.1~131.2 kg·p⁻¹ 之间, 叶片重在 28.6~32.2 g·p⁻¹ 之间, 根冠比在 0.137~0.157 之间, 叶茎比在 0.228~0.257 之间。第 4 类玉米品种株高在 250 cm 以上, 生物产量在 160.0~173.7 g·p⁻¹ 之间, 根系重量在 22.3~25.7 g·p⁻¹, 茎秆重量在 131.6~148.0 g·p⁻¹ 之间, 叶片重在 25.7~30.5 g·p⁻¹ 之间, 根冠比在 0.130~0.155 之间, 叶茎比在 0.174~0.233 之间。

表 1 淹水对不同玉米品种产量及其构成和相对受害率的影响

Table 1 Effects of waterlogging on yield, yield components and RIR of different maize cultivars

品种 Cultivar	处理 Treatment	穗数/ears·hm ⁻² Harvest ear number	穗粒数 Grains per ear	千粒重/g 1000-grain weight	产量/kg·hm ⁻² Grain yield	相对受害率/% RIR
隆平 206	W ₀	6000	537.0 ^{bc}	318.3 ^e	7841.3 ^{ab}	4.4 ^c
LP ₂₀₆	W ₁	6000	504.8 ^d	340.0 ^{cd}	7493.6 ^b	
郑单 958	W ₀	6000	554.6 ^{ab}	297.5 ^f	7725.0 ^{ab}	4.4 ^c
ZD ₉₅₈	W ₁	6000	497.2 ^d	330.0 ^{de}	7383.8 ^b	
浚单 20	W ₀	6000	478.2 ^e	299.2 ^f	7824.8 ^{ab}	22.4 ^a
XD ₂₀	W ₁	6000	441.4 ^f	305.8 ^f	6075.4 ^d	
中科 11	W ₀	6000	489.4 ^{de}	314.2 ^{ef}	7257.5 ^b	5.0 ^c
ZK ₁₁	W ₁	6000	463.7 ^{ef}	337.5 ^{de}	6892.8 ^c	
农单 5 号	W ₀	6000	445.1 ^f	379.2 ^a	7293.8 ^b	10.8 ^b
ND ₅	W ₁	6000	370.2 ^h	384.2 ^a	6600.1 ^c	
鲁单 981	W ₀	6000	449.3 ^f	355.8 ^{bc}	7936.1 ^a	23.2 ^a
LD ₉₈₁	W ₁	6000	442.1 ^f	365.0 ^{ab}	6095.1 ^d	
蠡玉 16	W ₀	6000	440.7 ^f	340.8 ^{cd}	7138.9 ^b	4.9 ^c
LY ₁₆	W ₁	6000	431.5 ^{fg}	360.0 ^b	6788.8 ^c	
先玉 335	W ₀	6000	482.2 ^{de}	335.8 ^{de}	8037.4 ^a	25.4 ^a
XY ₃₃₅	W ₁	6000	374.4 ^h	351.7 ^c	5995.0 ^d	
安农 8 号	W ₀	6000	518.9 ^{cd}	314.2 ^{ef}	7786.1 ^{ab}	4.1 ^c
AN ₈	W ₁	6000	485.8 ^{de}	320.8 ^e	7463.6 ^b	
中单 909	W ₀	6000	480.0 ^{de}	310.0 ^{ef}	7056.4 ^b	5.1 ^c
ZD ₉₀₉	W ₁	6000	465.5 ^{ef}	326.7 ^e	6693.9 ^c	
济单 7 号	W ₀	6000	527.9 ^c	310.0 ^{ef}	7497.6 ^b	8.3 ^b
JD ₇	W ₁	6000	492.4 ^d	336.7 ^{de}	6868.9 ^c	
安农 9 号	W ₀	6000	438.7 ^{fg}	376.7 ^a	7999.9 ^a	24.7 ^a
AN ₉	W ₁	6000	367.3 ^h	369.2 ^a	6025.0 ^d	
蠡玉 35	W ₀	6000	546.4 ^b	317.5 ^{ef}	7918.9 ^a	23.3 ^a
LY ₃₅	W ₁	6000	522.8 ^c	325.8 ^e	6077.5 ^d	
蠡玉 81	W ₀	6000	412.6 ^g	350.8 ^c	7305.1 ^b	9.2 ^b
LY ₈₁	W ₁	6000	401.0 ^h	362.5 ^b	6331.1 ^c	
农华 101	W ₀	6000	572.6 ^a	343.3 ^{cd}	8128.9 ^a	26.6 ^a
NH ₁₀₁	W ₁	6000	330.0 ⁱ	359.2 ^b	5966.7 ^d	
登海 605	W ₀	6000	445.8 ^f	351.7 ^c	8012.6 ^a	22.3 ^a
DH ₆₀₅	W ₁	6000	393.6 ^h	388.3 ^a	6228.8 ^d	

注: 同一列标以不同小写字母表示 5% 水平差异显著性。下同。

Note: Values followed by different small letters within a column are significantly different at 5% probability level. The same below.

表 2 不同玉米品种耐淹性分类
Table 2 Classification of water-logging resistance for 16 maize cultivars

品种 Cultivar	类别 Category	对照经济产量 Yield of control	淹水经济产量 Yield of waterlogging	相对受害率/% RIR
安农 8 号 AN ₈	1	7786.1 ^{ab}	7463.6 ^a	4.1 ^c
郑单 958 ZD ₉₅₈	1	7725.0 ^{ab}	7383.8 ^a	4.4 ^c
隆平 206 LP ₂₀₇	1	7841.3 ^{ab}	7493.6 ^a	4.4 ^c
中科 11 ZK ₁₁	2	7257.5 ^b	6892.8 ^b	5.0 ^c
蠡玉 16 LY ₁₆	2	7138.9 ^b	6788.8 ^b	4.9 ^c
中单 909 ZD ₉₀₉	2	7056.4 ^b	6693.9 ^b	5.1 ^c
济单 7 号 JD ₇	3	7497.6 ^b	6868.9 ^b	8.3 ^b
农单 5 号 ND ₅	3	7293.8 ^b	6600.1 ^b	10.8 ^b
蠡玉 81 LY ₈₁	3	7305.1 ^b	6331.1 ^b	9.2 ^b
蠡玉 35 LY ₃₅	4	7918.9 ^a	6077.5 ^c	23.3 ^a
鲁单 981 LD ₉₈₁	4	7936.1 ^a	6095.1 ^c	23.2 ^a
安农 9 号 AN ₉	4	7999.9 ^a	6025.0 ^c	24.7 ^a
登海 605 DH ₆₀₅	4	8012.6 ^a	6228.8 ^c	22.3 ^a
浚单 20 XD ₂₀	4	7824.8 ^{ab}	6075.4 ^c	22.4 ^a
先玉 335 XY ₃₃₅	4	8037.4 ^a	5995.0 ^c	25.4 ^a
农华 101 NH ₁₀₁	4	8128.9 ^a	5966.7 ^c	26.6 ^a

表 3 抽雄期不同玉米品种形态特征
Table 3 Morphological characteristics of 16 maize cultivars at tasselling stage

品种 Cultivar	类别 Category	株高/cm Plant height	生物产量/g·p ⁻¹ Dry matter	根重/g·p ⁻¹ Weight of root	茎重/g·p ⁻¹ Weight of culm	叶重/g·p ⁻¹ Weight of leaf	根冠比 R/C	叶茎比 L/S
安农 8 号 AN ₈	1	235.4 ^d	150.0 ^c	25.1 ^{ab}	105.1 ^c	44.8 ^a	0.168 ^a	0.427 ^a
郑单 958 ZD ₉₅₈	1	237.3 ^d	149.1 ^c	25.1 ^{ab}	106.9 ^c	42.2 ^a	0.169 ^a	0.398 ^a
隆平 206 LP ₂₀₇	1	234.7 ^d	151.3 ^c	24.9 ^b	111.2 ^c	40.1 ^a	0.165 ^a	0.361 ^a
中科 11 ZK ₁₁	2	234.7 ^d	149.0 ^c	18.6 ^d	121.4 ^{bc}	27.6 ^c	0.125 ^d	0.228 ^c
蠡玉 16 LY ₁₆	2	232.9 ^d	138.9 ^d	19.3 ^d	109.5 ^c	29.4 ^{bc}	0.139 ^d	0.270 ^b
中单 909 ZD ₉₀₉	2	235.6 ^d	137.1 ^d	19.7 ^d	105.2 ^c	31.9 ^b	0.144 ^c	0.304 ^b
济单 7 号 JD ₇	3	245.7 ^c	163.9 ^b	25.7 ^{ab}	131.2 ^b	32.2 ^b	0.157 ^b	0.257 ^{bc}
农单 5 号 ND ₅	3	240.7 ^{cd}	152.0 ^c	20.8 ^d	122.1 ^{bc}	29.9 ^{bc}	0.137 ^d	0.246 ^{bc}
蠡玉 81 LY ₈₁	3	248.5 ^c	153.7 ^c	27.1 ^a	125.1 ^{bc}	28.6 ^c	0.141 ^{cd}	0.228 ^c
蠡玉 35 LY ₃₅	4	252.6 ^{bc}	162.1 ^b	25.1 ^{ab}	131.6 ^b	30.5 ^b	0.155 ^b	0.233 ^c
鲁单 981 LD ₉₈₁	4	255.8 ^b	166.0 ^{ab}	24.3 ^b	136.0 ^b	30.0 ^{bc}	0.147 ^c	0.221 ^c
安农 9 号 AN ₉	4	266.6 ^a	170.9 ^a	25.7 ^{ab}	143.4 ^a	27.5 ^c	0.151 ^{bc}	0.192 ^d
登海 605 DH ₆₀₅	4	257.3 ^b	167.1 ^{ab}	24.5 ^b	140.2 ^{ab}	26.9 ^c	0.147 ^c	0.192 ^d
浚单 20 XD ₂₀	4	251.5 ^{bc}	160.0 ^b	23.7 ^{bc}	132.1 ^b	27.9 ^c	0.148 ^c	0.211 ^{cd}
先玉 335 XY ₃₃₅	4	269.0 ^a	171.8 ^a	22.3 ^c	144.4 ^a	27.4 ^c	0.130 ^d	0.190 ^d
农华 101 NH ₁₀₁	4	269.1 ^a	173.7 ^a	23.5 ^{bc}	148.0 ^a	25.7 ^d	0.136 ^d	0.174 ^e

2.4 不同处理条件下产量与形态指标相关性分析

由表 4 可知, 不淹水处理条件下, 株高、生物产量与经济产量呈显著的正相关关系, 与叶重、根冠比和叶茎比呈极显著的正相关关系, 与根重和茎重无显著正相关关系; 在淹水条件下, 株高、生物产量、根重、茎重与经济产量相关性不显著, 叶重、根冠比和叶茎比显著相关。因此, 综合不淹水和淹水两种条件, 可以把叶片重、根冠比和叶茎比作为

衡量玉米品种耐淹能力的重要形态指标。

2.5 淹水对不同玉米品种抽雄开花期早晚的影响

由表 5 可知, 不淹水条件下, 第 1 类玉米品种散粉期最早, 第 2 类、第 3 类玉米品种次之, 第 4 类玉米品种散粉期最晚, 最早开花的品种隆平 206 比第 4 类品种提早散粉 3 d; 淹水条件下, 第 2 类、第 3 类和第 4 类与第 1 类玉米品种的散粉期间隔加长, 分别推迟 2~3 d、3~4 d、3~4 d。第 1 类品种

淹水与不淹水处理散粉期仅相差 2 d, 而第 4 类品种淹水与不淹水处理相比散粉期明显推迟, 淹水与不淹水处理相比散粉期推迟了 3~4 d。

2.6 淹水对不同耐淹型品种叶绿素含量(SPAD 值)的影响

在不淹水条件下, 4 类品种叶绿素含量差异不显著。第 1 类品种(安农 8 号)在淹水后 10 d SPAD

值已经与不淹水处理差异不显著, 第 2 类品种(中科 11)在淹水后 15 d SPAD 值与不淹水处理差异不显著, 第 3 类品种(农单 5 号)和第 4 类品种(先玉 335)在淹水后 25 d SPAD 值才与不淹水处理差异不显著, 说明第 1 类品种淹水后叶绿素合成速度恢复快, 第 2 类品种次之, 第 3 类和第 4 类品种恢复慢。

表 4 产量与形态指标相关性分析

Table 4 Correlation coefficients of yield and morphological characteristics of 16 maize cultivars

指标 Index	株高 Plant height	生物量 Dry matter	根重 Weight of root	茎重 Weight of culm	叶重 Weight of leaf	根冠比 R/C	叶茎比 L/S
淹水处理产量 Yield of waterlogging	0.712*	0.784*	0.235	0.358	0.893**	0.914**	0.953**
不淹水处理产量 Yield of the control	0.431	0.357	0.216	0.433	0.921**	0.967**	0.965**

注: “*” 和 “**” 分别代表 0.05 和 0.01 显著水平。

Note: “*” and “**” mean significant difference at the 5% and 1% probability levels, respectively.

表 5 不同玉米品种在不同水分处理条件下的散粉期

Table 5 Date of blossom for 16 maize cultivars under different water conditions

品种 Cultivar	类别 Category	开花期 Date of blossom				淹水处理与 对照开花天数差值 DDMBWC
		对照 Control		淹水处理 Waterlogging		
		播种后天数 DAS	与最早开花品种差值 DAFBC	播种后天数 DAS	与最早开花品种差值 DAFBC	
安农 8 号 AN ₈	1	42	0	44	0	2
郑单 958 ZD ₉₅₈	1	43	1	45	1	2
隆平 206 LP ₂₀₇	1	43	1	45	1	2
中科 11 ZK ₁₁	2	44	2	47	3	3
蠡玉 16 LY ₁₆	2	44	2	46	2	2
中单 909 ZD ₉₀₉	2	44	2	47	3	3
济单 7 号 JD ₇	3	45	3	48	4	3
农单 5 号 ND ₅	3	44	2	47	3	3
蠡玉 81 LY ₈₁	3	45	3	49	5	4
蠡玉 35 LY ₃₅	4	45	3	48	4	3
鲁单 981 LD ₉₈₁	4	45	3	49	5	4
安农 9 号 AN ₉	4	45	3	49	5	4
登海 605 DH ₆₀₅	4	45	3	49	5	4
浚单 20 XD ₂₀	4	45	3	48	4	3
先玉 335 XY ₃₃₅	4	45	3	49	5	4
农华 101 NH ₁₀₁	4	45	3	49	5	4

DAS: Days after seeding; DAFBC: Days after the first blossomed cultivar; DDMBWC: The difference of days for maize blossomed between the waterlogging and the control.

2.7 渍水对不同耐淹型品种光合速率的影响

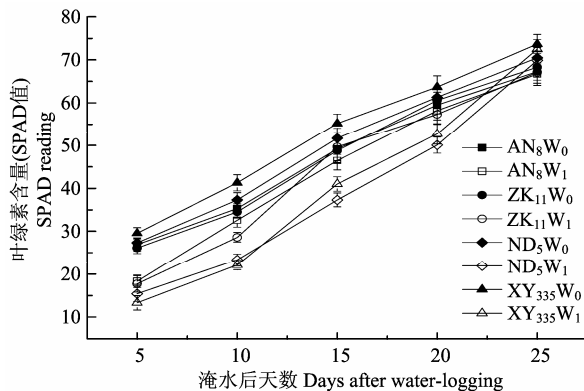
由图 2 可知, 不淹水处理情况下, 4 类品种光合速率无显著差异; 第 1 类品种(安农 8 号)在淹水后 10 d 光合速率已经与不淹水处理差异不显著, 第 2 类品种(中科 11)在淹水后 15 d 光合速率与不淹水处理差异不显著, 第 3 类品种(农单 5 号)和

第 4 类品种(先玉 335)在淹水后 25 d 光合速率才与不淹水处理差异不显著, 说明第 1 类品种淹水后光合速率恢复快, 第 2 类品种次之, 第 3 类和第 4 类品种恢复慢。

3 小结与讨论

淹水可导致土壤缺氧, 作物根系无氧呼吸加强,

活力下降,影响养分和水分的吸收近而导致叶片早衰,叶绿素含量降低,光合作用受到抑制,植株干物质的积累与转运减少,最终可导致作物减产超过20%^[7-8]。



AN₈W₀: 安农 8 号对照; AN₈W₁: 安农 8 号淹水处理; ZK₁₁W₀: 中科 11 对照; ZK₁₁W₁: 中科 11 淹水处理 ND₅W₀: 农单 5 号对照; ND₅W₁: 农单 5 号淹水处理; XY₃₃₅W₀: 先玉 335 对照; XY₃₃₅W₁: 先玉 335 对照。下同

AN₈W₀: The control for AN8; AN₈W₁: Waterlogging for AN8; ZK₁₁W₀: The control for ZK₁₁; ZK₁₁W₁: Waterlogging for ZK₁₁; ND₅W₀: The control for ND₅; ND₅W₁: Waterlogging for ND₅; XY₃₃₅W₀: The control for XY₃₃₅; XY₃₃₅W₁: Waterlogging for XY₃₃₅. The same below

图 1 不同水分处理对不同耐淹型品种叶绿素含量 (SPAD 值) 的影响

Figure 1 Effects of different water conditions on chlorophyll contents of 16 maize cultivars

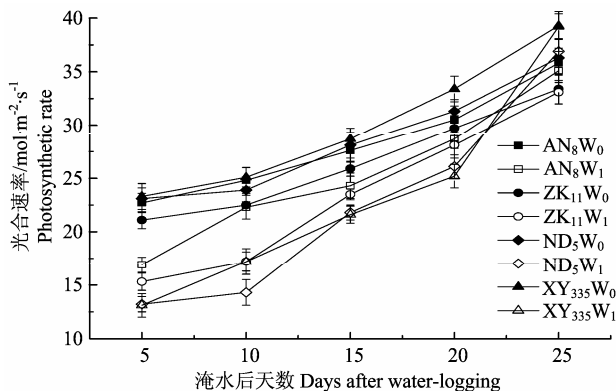


图 2 渍水对不同耐淹型品种光合速率的影响

Figure 2 Effects of different water conditions on photosynthetic rate of 16 maize cultivars

苗期淹水对玉米产量影响最大,研究表明,玉米 3 叶期淹水 6 d 后超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)和过氧化物酶(POD)等保护酶活性以及可溶性蛋白含量较不淹水对照显著下降,而丙二醛(MDA)含量显著升高,叶片叶绿素含量降低,产量显著下降^[4-5, 9-12]。与对照相比,淹水可使夏玉米基

部第 3 茎节变细,茎秆穿刺强度降低 32.53% 和 42.73%,茎秆的皮层厚度和维管束内部厚壁细胞厚度变薄,维管束数目减少,倒伏风险加大;同时淹水使玉米空秆率增加,穗粒数和千粒重显著降低,产量下降^[13]。

关于玉米淹水防御与修复机制,除挖好排水沟和垄作外,还有淹水后及时补充氮素营养和喷施抗渍生化制剂等技术手段。研究表明,细胞分裂素类物质及抗氧化剂可以提高玉米叶片保护酶活性,细胞膜稳定性增加,活性氧类物质含量降低,叶绿素合成和光合速率恢复快^[14]。以上研究均限于少数玉米品种淹水的致灾机理和灾害恢复途径和机理方面的研究,关于筛选和应用耐淹玉米品种及耐淹性评价指标方面的研究并未见报道。

本试验通过研究目前生产上 16 个主推玉米品种不淹水与淹水处理形态生理指标上的差异,根据产量与受害率的关系将 16 个供试玉米品种分为 4 类:高产耐淹型品种(安农 8 号等),这类品种不淹水条件下经济产量与高产品种产量差异不显著,淹水条件下产量最高,减产幅度(RIR)最小。第 2 类品种为低产耐淹型品种(中单 909 等),这类品种不淹水条件下经济产量显著低于高产品种,淹水后与不淹水相比减产幅度(RIR)与第 1 类品种差异不显著。第 3 类品种为低产不耐淹型品种(济单 7 号等),这类品种不淹水条件下经济产量显著低于高产品种,淹水后与不淹水相比减产幅度(RIR)显著低于第 1 类和第 2 类品种。第 4 类品种为高产不耐淹型品种(鑫玉 35 等)。这类品种不淹水条件下经济产量最高,但淹水后经济产量减产幅度(RIR)显著低于前 3 类品种。

不淹水处理条件下,株高、生物产量与经济产量呈显著的正相关关系,与叶重、根冠比和叶茎比呈极显著的正相关关系,与根重和茎重无显著正相关关系;在淹水条件下,株高、生物产量、根重、茎重与经济产量相关性不显著,叶重、根冠比和叶茎比显著相关。因此,可以把叶重、根冠比和叶茎比作为衡量玉米品种耐淹能力的重要形态指标。

第 1 类高产耐淹型品种(安农 8 号等)不仅在淹水条件下产量最高,减少幅度小,而且不淹水条件产量亦高,可以作为江淮地区的推荐玉米品种。这类品种有较高的叶片重量、根冠比和叶茎比,即根和叶所占的比例相对较大,茎秆所占比例相对较小。这类品种对于涝渍危害的快速响应能力可能在于较多的叶片在渍害恢复过程中能够对根系的吸收能力形成较强的反馈作用,而较多的根系在渍害恢

复过程中需要更多由叶片合成的光合产物向根系运转, 又进一步刺激了叶片光合能力的恢复。同时, 第 1 类品种淹水后叶绿素和光合速率恢复能力显著高于其他 3 类品种, 进一步促进了这类品种灾害恢复, 使散粉期提前, 减少玉米遇到高温天气的几率, 降低高温热害的发生几率^[15]。另外, 这类品种叶茎比较高, 茎秆所占比例较低, 可减少收获时机械阻力和籽粒损失率, 不仅耐涝渍能力强, 而且适合目前玉米机播机收轻简化栽培的需要^[16]。

第 2 类低产耐淹型品种(中单 909 等), 淹水后与不淹水相比减产幅度(RIR)与第 1 类品种差异不显著, 说明这类品种存在耐淹相关基因。至于第 2 类品种和第 1 类品种的耐淹相关基因是否为同一基因, 需要进一步研究。若证实不是同一基因, 则存在构建含有 2 个耐淹相关基因玉米自交系的可能性, 进而对耐淹水玉米杂交种选育具有重要意义^[17-18]。

第 3 类低产不耐淹型品种(济单 7 号等)不淹水条件下经济产量显著低于高产品种, 淹水后与不淹水相比减产幅度(RIR)显著低于第 1 类和第 2 类品种, 在江淮流域玉米生产中意义不大, 应谨慎使用。

第 4 类高产不耐淹型品种(蠡玉 35 等)不淹水条件下经济产量最高, 但淹水后经济减产幅度(RIR)显著低于前 3 类品种。这类品种因正常年份产量较高而受到农民喜爱, 在生产中有一定的应用面积。因而, 在谨慎推荐农民使用的同时, 可在生产中可采用垄作、灾后施肥和喷抗涝渍生化制剂等方式, 尽可能减轻涝渍年份造成的产量损失。

安农 8 号、郑单 958 和隆平 206 淹水后具有较高的叶重、根冠比和叶茎比, 叶绿素和光合速率淹水后恢复速度快, 散粉期早, 产量降低幅度小, 可以作为江淮易涝渍地区的推荐品种。

参考文献:

- [1] 毛文书, 王谦谦, 王永忠, 等. 近 50 a 江淮梅雨期暴雨的区域特征[J]. 南京气象学院学报, 2006, 29(1): 33-40.
- [2] 毛文书, 王谦谦, 李国平, 等. 近 50 a 江淮梅雨的区域特征[J]. 气象科学, 2008, 28(1): 68-73.
- [3] 刘战东, 肖俊夫, 冯跃华, 等. 淹水历时与排水对夏玉米叶面积和产量的影响[J]. 河南农业科学, 2012, 41(1): 32-35, 39.
- [4] 任佰朝, 张吉旺, 李霞, 等. 淹水胁迫对夏玉米籽粒灌浆特性和品质的影响[J]. 中国农业科学, 2013, 46(1): 4435-4445.
- [5] 任佰朝, 张吉旺, 李霞, 等. 大田淹水对夏玉米叶片衰老特性的影响[J]. 应用生态学报, 2014, 25(4): 1022-1028.
- [6] 吴进东, 李金才, 魏凤珍, 等. 花后渍水高温交互效应对冬小麦旗叶光合特性及产量的影响[J]. 作物学报, 2012, 38(6): 1071-1079.
- [7] Li C Y, Jiang D, Wollenweber B, et al. Waterlogging pretreatment during vegetative growth improves tolerance to waterlogging after anthesis in wheat[J]. Plant Science, 2011, 180: 672-678.
- [8] Zheng C F, Jiang D, Liu F L, et al. Effects of salt and waterlogging stresses and their combination on leaf photosynthesis, chloroplast ATP synthesis, and antioxidant capacity in wheat[J]. Plant Science, 2009, 176: 575-582.
- [9] 刘晓忠, 李建坤, 王志霞, 等. 涝渍逆境下玉米叶片超氧化物歧化酶和过氧化氢酶活性与抗涝性的关系[J]. 华北农学报, 1995, 10(3): 29-32.
- [10] 晏斌, 戴秋杰, 刘晓忠, 等. 玉米叶片涝渍伤害过程中超氧自由基的积累[J]. 植物学报, 1995, 37(9): 738-744.
- [11] 汪宗立, 刘晓忠, 李建坤, 等. 玉米的涝渍伤害与膜脂过氧化作用和保护酶活性的关系[J]. 江苏农业学报, 1988, 4(3): 1-8.
- [12] 李香颜, 刘忠阳, 李彤宵. 淹水对夏玉米性状及产量的影响试验研究[J]. 气象科学, 2011, 31(1): 79-82.
- [13] 任佰朝, 张吉旺, 李霞, 等. 大田淹水对高产夏玉米抗倒伏性能的影响[J]. 中国农业科学, 2013, 25(4): 2440-2448.
- [14] 刘晓忠, 李建坤, 王志霞, 等. 应用细胞分裂素类物质提高玉米抗涝能力的效果与作用[J]. 作物学报, 1996, 22(4): 403-408.
- [15] 陶志强, 陈源泉, 隋鹏, 等. 华北春玉米高温胁迫影响机理及其技术应对探讨[J]. 中国农业大学学报, 2013, 18(4): 20-27.
- [16] 秦燕平. 推广玉米收获机械化势在必行[J]. 农业技术与装备, 2008, 12(2): 23-24.
- [17] 尤莉, 邱法展, 张祖新, 等. 整合玉米基因表达与遗传分析资料发掘耐渍性候选基因[J]. 河北农业大学学报, 2007, 30(3): 9-13.
- [18] 唐万虎, 张祖新, 邹锡玲, 等. 玉米耐渍功能基因组分析及相关基因 Sicyp51 的鉴定与克隆[J]. 中国科学 C 辑: 生命科学, 2005, 35(1): 29-36.