

持绿型小麦叶片衰老和叶绿素荧光特征的研究

武永胜, 薛 晖, 刘 洋, 龚月桦

(西北农林科技大学 生命科学院, 陕西 杨凌 712100)

摘 要: 选用4个小麦品种对其开花后绿叶面积、色素含量、丙二醛(MDA)含量及旗叶叶绿素荧光参数进行了测定分析。结果表明:持绿型小麦的绿叶面积显著高于非持绿型小麦,且生育后期下降缓慢;生育后期持绿型小麦叶片色素含量降低缓慢;随着生育进程推进,小麦叶片丙二醛(MDA)含量都呈上升趋势,与非持绿型小麦比较,持绿型小麦MDA上升缓慢且维持较低水平;生育后期持绿型小麦叶片的 F_v/F_m 、 F_v/F_o 、 qP 、 $\phi PS II$ 、 ETR 明显高于非持绿型小麦,而 qN 明显低于非持绿型小麦;持绿型小麦产量较高,收获指数大。总之,持绿型小麦生育后期叶片衰老缓慢,光合功能维持时间长,光合产物积累多,具有较好的增产优势。

关键词: 小麦;持绿;绿叶面积;叶绿素荧光

中图分类号: S512.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2010)04-0117-06

在禾谷类作物中,前人对持绿现象已进行不少报道,目前在大田作物小麦、玉米、高粱、大豆、向日葵等作物上均发现了保绿类型的种质或品种,由于保绿性与高产和抗性(如抗旱、抗病、抗倒等)密切联系,国内外育种家和生理学家非常注重作物保绿性的选择^[1-3],部分作物已在生产中广泛应用,如小麦、玉米^[4]、高粱^[5]、大豆^[4]等。近年来,有关小麦持绿研究也有一些报道^[1,2]。

持绿是指植物衰老延迟,种子生理正常成熟,而茎秆和上部叶片仍保持绿色,即“活秆成熟”,与早衰相对应。持绿性,也称保绿性,用来描述生育后期植株衰老进程。Thomas Howarth 把持绿定义为植株衰老相对于正常基因型植物较为延迟^[3]。作物的持绿性状受基因的控制,不同作物如大豆、高粱、玉米、向日葵等叶片的持绿基因遗传的方式存在明显的差异^[6-9]。持绿的表现型通常因突变或杂交产生。在生产中,可目测籽粒生理成熟时植株上保留的绿叶数目粗略估计品种的持绿性。对小麦而言,生理成熟期是指籽粒干物质累积达最大的时候,其外观表现是籽粒腹沟处绿色消失。小麦籽粒产量的70%~80%来自于开花后叶片光合作用的产物^[10]。持绿型小麦由于叶片衰老延迟,功能期延长,因此可为籽粒灌浆提供充足的营养物质,一般比当地对照品种产量提高10%~15%^[11-13]。本研究通过对持绿型小麦品种的叶片衰老、叶绿素荧光参数以及产量进行分析,了解持绿型小麦的潜力和优势,为小麦育种和品种选育提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

本试验于2007年10月下旬~2008年7月在西北农林科技大学试验站大型防雨棚内进行。供试冬小麦品种为小偃22号(XY22)、温麦6号(WM6)、豫麦66号(YM66)、潍麦8号(WM8)。小偃22是非持绿型小麦品种,为陕西省大面积栽培品种,本试验以小偃22为对照。所选品种中潍麦8号(WM8)来自山东潍坊,豫麦66(YM66)来自河南兰考,温麦6号(WM6)来自河南温县,小偃22(XY22)由西北农林科技大学农学院提供。WM6为早衰型品种,XY22为正常品种,WM8、YM66为持绿型小麦品种。

1.2 试验设计

试验采用盆栽方式,盆栽所用土采用当地耕作层0~20 cm中壤土,风干后测得土壤含水量为2.3%,田间持水量为30.4%。土壤基础养分含量为:有机质12.9 g/kg、速效氮48.5 mg/kg、速效磷6.1 mg/kg、速效钾154.9 mg/kg、全氮1.05 g/kg、全磷0.70 g/kg、全钾1.0 g/kg。盆栽所用塑料桶直径23 cm,深24 cm。每桶装混合土(70%干土与30%细沙)9.29 kg,施尿素3.2 g/盆;磷酸二氢钾(KH_2PO_4)1.86 g/盆(肥料用量依据当地耕作层0~20 cm中壤土占每667 m²的公斤量及每667 m²施用氮磷肥量计算施用),肥料与过筛风干土混匀后装盆。全生育期不再追肥。于2007年10月19日进行播种,每盆均匀播种18粒,五叶期定苗,每盆15株,去掉分蘖。

收稿日期:2010-01-10

基金项目:国家自然科学基金青年基金(30600075);西北农林科技大学青年学术骨干支持计划

作者简介:武永胜(1981—),男,内蒙古呼和浩特人,硕士研究生,研究方向为植物水分与抗旱生理。E-mail: wysqualify@126.com。

通讯作者:龚月桦,女,博士,副教授。E-mail: gongyh01@163.com。

本试验以开花后的天数确定采样时间。

1.3 测定项目及测定方法

(1) 绿叶面积的测定:于盛花期选择长势一致的穗子,挂牌标记。从盛花期每隔 7 d 取 5 株采用系数法测定叶面积,即叶面积 = 叶长 × 叶宽 × 0.83^[14]。

(2) 色素含量的测定:于盛花期选择长势一致的穗子,挂牌标记。从盛花期每隔 7 d 取 3 株。将旗叶、倒二叶、倒三叶剪碎混匀后称取 0.5 g,用 95% 乙醇提取,根据 Arnon 法分别在 665 nm、649 nm、470 nm 处用分光光度计测定 OD 值,代入公式分别计算叶绿素含量以及类胡萝卜素含量^[15]。

(3) 丙二醛含量的测定:从开花期每隔 7 d 采样一次,取小麦植株的旗叶、倒二叶、倒三叶混合测定。按照高俊凤的方法^[15],测定硫代巴比妥酸(TBA)含量,称取剪碎的叶片 0.5 g,加入 5 mL 10% TCA 和少量石英砂研磨至匀浆,匀浆(10 000 × g)离心 10 min,上清液为样品提取液。吸取离心后的上清液 2 mL (对照管加 2 mL 蒸馏水),加入 2 mL 0.6% TBA 溶液,混匀后于沸水浴中反应 15 min,迅速冷却后再离心(4 000 × g) 10 min。取上清液测定 532 nm、600 nm、450 nm 波长下的吸光值,计算 MDA 含量。

(4) 叶绿素荧光参数的测定:从小麦盛花期,选择晴朗无风的天气,用美国 Optin - Science 公司生产的 OS - 30 型叶绿素荧光计。将小麦旗叶用叶夹进行暗适应 30 min 后,测不同冬小麦品种叶绿素荧光诱导动力学参数:初始荧光(F_0)、最大荧光(F_m)、稳定荧光(F_t)、光合系统 II (PS II) 的原初光能转化效率(F_v/F_m)等。计算 PS II 潜在活性 F_v/F_0 、光化学荧光淬灭系数(qP)、非光化学荧光淬灭系数(qN)、PS II 实际光化学效率($\phi PS II$)、表观光合电子传递速率(ETR)。每品种每次测 6 株,采用循环式测量方法,以排除太阳辐射和气温等对不同小麦品种的影响。

1.4 数据分析

通过 Excel2003 和 DPS 统计分析软件处理数据,采用 t 测验检验处理间的差异显著性。

2 结果与分析

2.1 不同小麦品种绿叶面积的比较

开花后随着生育进程,各小麦品种绿叶面积逐渐减少(图 1),与非持绿型小麦品种相比,持绿型小麦在开花灌浆期维持较高的绿叶面积。在生育后期,持绿型小麦与非持绿型小麦品种绿叶面积的差距逐渐增大,非持绿型小麦品种绿叶面积下降的幅

度大于持绿型小麦品种。收获前,持绿型小麦品种仍有较高的绿叶面积,非持绿型小麦品种则下降的很低。在花后 21 d 时持绿型小麦 YM66 和 WM8 的绿叶面积比对照品种 XY22 分别高出 44.7% 和 34.4%,而早衰型小麦品种 WM6 比对照品种降低了 72.2%。说明持绿型小麦品种叶片的衰老延缓,生育后期仍然能保持部分叶片呈现绿色,大大提高了光合面积,延长了光合时间。

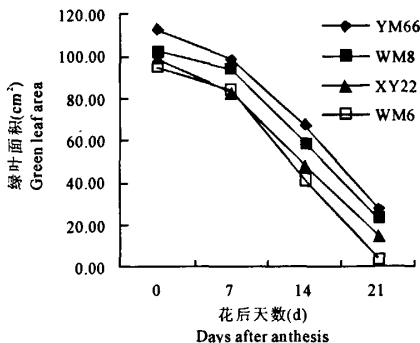


图 1 不同冬小麦品种绿叶面积的变化

Fig. 1 The variations of green leaf area of different varieties of winter wheat

2.2 不同冬小麦品种光合色素含量的比较

叶片叶绿素含量是反映作物衰老状况和光合能力的一个重要指标;类胡萝卜素可以耗散过剩光能,防止活性氧产生,保护光合机构。

小麦开花灌浆期光合色素测定结果表明,开花后随生育进程,不同小麦品种的叶绿素含量和类胡萝卜素含量在开花期到花后 21 d 天内呈现先升后降趋势,其中,花后 7 d 达最大值,只有早衰型小麦品种的两种色素一直下降(图 2);不同冬小麦品种比较,在生育后期,持绿型小麦品种与非持绿型小麦品种色素含量的差距逐渐增大,非持绿型小麦品种色素含量下降的幅度大于持绿型小麦品种,从花后 14 d 到花后 21 d,4 个品种 YM66、WM8、XY22、WM6 叶绿素含量分别下降了 19.2%、16.1%、33.3%、57.0%;在花后 21 d 时持绿型小麦 YM66 和 WM8 叶绿素含量比对照品种 XY22 分别高出 33.8% 和 31.6%,而早衰型小麦品种 WM6 比对照品种降低了 36.2%;从花后 14 d 到 21 d 4 个品种 YM66、WM8、XY22、WM6 类胡萝卜素含量分别下降了 18.6%、22.5%、23.4%、46.5%;在花后 21 d 时持绿型小麦 YM66 和 WM8 类胡萝卜素含量比对照品种 XY22 分别高出 22.5% 和 17.2%,而早衰型小麦品种 WM6 比对照品种降低了 30.2%。总之,持绿型小麦叶片

光合色素含量降低缓慢,后期含量相对较高。由此说明持绿型小麦叶片衰老缓慢,光合色素含量较高,

在生育后期仍然能捕获更多的光能为光合作用所利用。

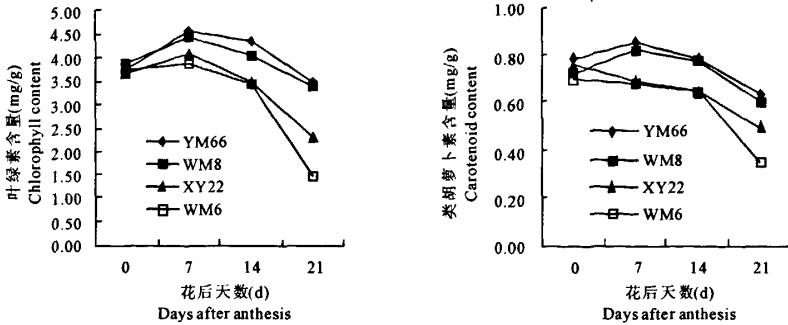


图 2 不同冬小麦品种色素含量的变化

Fig.2 The variations of content of pigment in different varieties of winter wheat

2.3 不同冬小麦品种丙二醛含量的比较

丙二醛(MDA)是细胞脂质过氧化指标。小麦开花后随生育进程,各品种丙二醛含量逐渐增加(图 3);在生育后期,非持绿型小麦丙二醛含量增加的幅度大于持绿型小麦品种,持绿型小麦品种与非持绿型小麦品种丙二醛含量的差距逐渐增大,从花后 14 d 到 21 d 4 个品种 YM66、WM8、XY22、WM6 丙二醛(MDA)含量分别上升了 12.4%、20.6%、52.6%、55.5%;在花后 21 d 时对照品种 XY22 比持绿型小麦 YM66 和 WM8 丙二醛(MDA)含量分别高出 55.2%和 47.5%,而早衰型小麦品种 WM6 比对照品种高出 10.9%。可见,持绿型小麦品种叶片 MDA 含量增加速率较非持绿型小麦品种缓慢,并且一直维持在较低的水平。由此可以说明,在生育后期持绿型小麦品种膜脂过氧化程度较轻,这可能与持绿型小麦叶片内活性氧清除能力较强有关系。

2.4 不同小麦品种 F_v/F_o 、 F_v/F_m 的比较

F_v/F_o 代表光系统 II (PS II) 潜在活性; F_v/F_m 反应的是暗适应光系统 II (PS II) 反应中心完全开放时原初光能转换效率,称为 PS II 最大光化学效率。在小麦开花灌浆期 F_v/F_o 值和 F_v/F_m 值测定结果表明,开花后随生育进程,不同小麦品种的 F_v/F_o 值和 F_v/F_m 值在开花期到花后 21 d 天内呈现先升后降的变化趋势,其中,花后 7 d 达最大值(图 4);从花后 14 d 到 21 d 4 个品种 YM66、WM8、XY22、WM6 F_v/F_o 分别下降了 6.7%、5.9%、14.1%、17.0%;在花后 21 d 时持绿型小麦 YM66 和 WM8 F_v/F_o 比对照品种 XY22 分别高出 12.5%和 11.7%,而早衰型小麦品种 WM6 比对照品种降低了 4.9%;从花后 14 d 到 21 d 4 个品种 YM66、WM8、XY22、WM6 F_v/F_m 分别下降了 1.5%、0.9%、2.6%、3.9%;在花后 21 d

时持绿型小麦 YM66 和 WM8 的 F_v/F_m 比对照品种 XY22 分别高出 3.0%和 2.4%,而早衰型小麦品种 WM6 比对照品种降低了 1.3%。可见,持绿型小麦品种叶片 F_v/F_o 值和 F_v/F_m 值下降速率较非持绿型小麦品种缓慢,并且一直维持在较高的水平,这说明持绿型小麦的 PS II 的潜在活性较高,最大光化学效率也较大。

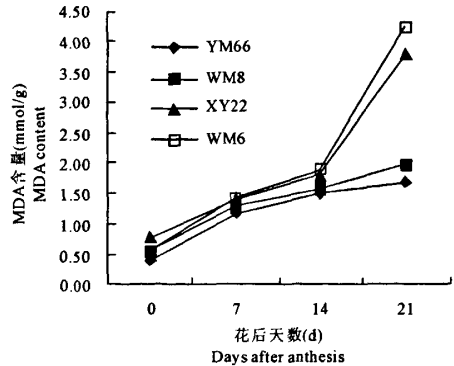


图 3 不同冬小麦品种 MDA 含量的变化

Fig.3 The variations of content of MDA in different varieties of winter wheat

2.5 不同小麦品种光化学荧光淬灭系数 (qP)、非光化学荧光淬灭系数 (qN) 的比较

在叶绿素荧光动力学参数中光化学荧光淬灭系数 (qP) 表示激发能被开放的反应中心捕获并转化为化学能而导致的荧光淬灭,反映了光适应状态下 PSII 进行光化学反应的能力;反映了 PS II 天线色素吸收的光能用于光化学反应电子传递的份额。非光化学荧光淬灭系数 (qN) 反映的是 PS II 天线色素吸收的光能不能用于光合电子传递而以热的形式耗散掉的部分。

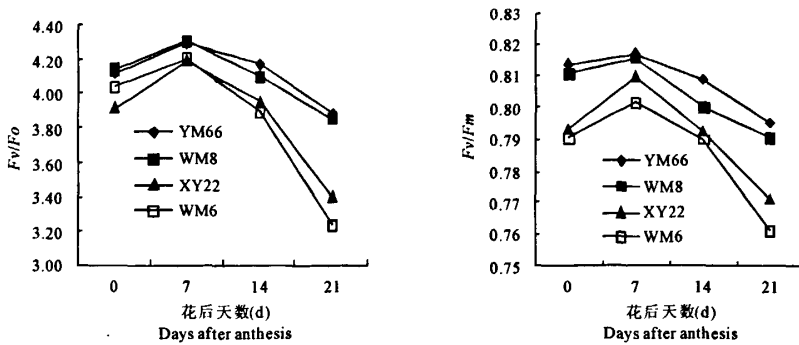


图 4 不同冬小麦品种 PSⅡ潜在活性 (F_v/F_o) 和光合系统Ⅱ (PSⅡ) 的原初光能转化效率 (F_v/F_m) 的变化

Fig. 4 The variations of F_v/F_o and F_v/F_m of different varieties of winter wheat

在小麦开花后随生育进程,各小麦品种 qP 值呈现下降趋势,而 qN 值呈现增加的趋势(图 5)。不同冬小麦品种比较,在生育后期,持绿型小麦品种与非持绿型小麦品种 qP 值和 qN 值差异较大,非持绿型小麦品种 qP 值下降幅度和 qN 值上升的幅度都大于持绿型小麦品种,从花后 14 d 到 21 d 4 个品种 YM66、WM8、XY22、WM6 qP 分别下降了 10.5%、9.7%、13.5%、20.6%;在花后 21 d 时持绿型小麦 YM66 和 WM8 的 qP 比对照品种 XY22 分别高出 8.5% 和 7.4%,而早衰型小麦品种 WM6 比对照品种降低了 7.8%;从花后 14 d 到 21 d 4 个品种

YM66、WM8、XY22、WM6 qN 分别上升了 22.2%、21.6%、25.1%、26.9%;在花后 21 d 时对照品种 XY22 比持绿型小麦 YM66 和 WM8 qN 分别高出 14.6% 和 13.3%,而早衰型小麦品种 WM6 比对照品种高出 3.6%。可见,对于持绿型小麦品种而言,在生育后期叶片 qP 值下降速率较非持绿型小麦品种缓慢,并且一直维持在较高的水平;而 qN 值上升缓慢,且一直保持在较低的水平。这表明持绿型小麦能将天线色素所捕获的光能更加充分地用于光合作用,通过热耗散释放的比例小,光能利用率高。

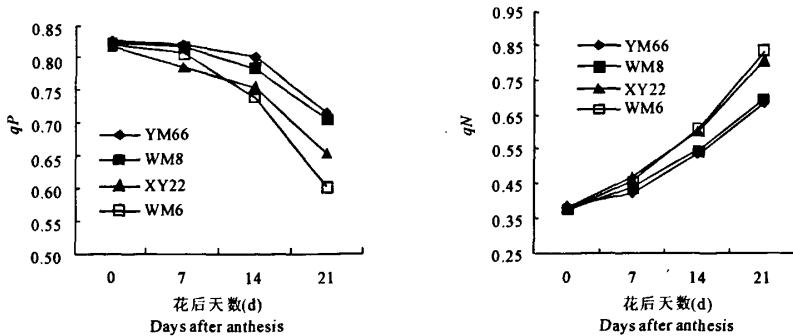


图 5 不同冬小麦品种光化学荧光淬灭系数 (qP) 和非光化学荧光淬灭系数 (qN) 的变化

Fig. 5 The variations of qP and qN of different varieties of winter wheat

2.6 不同冬小麦品种 PSⅡ实际光化学效率 (ϕPS II)、表现光合电子传递速率 (ETR) 的比较

PSⅡ实际光化学效率 (ϕPS II),反映在照光下 PSⅡ反应中心部分关闭情况下的实际光化学效率, ETR 为表现光合电子传递速率。在小麦开花后随着生育进程,各小麦品种 ϕPS II 和 ETR 逐渐减少(图 6);与非持绿型小麦品种相比,持绿型小麦在开花灌浆期维持较高 ϕPS II 和 ETR ,不同小麦品种比较,在生育后期,持绿型小麦品种与非持绿型小麦品

种 ϕPS II 和 ETR 的差距逐渐增大,非持绿型小麦品种 ϕPS II 和 ETR 下降幅度大于持绿型小麦品种,从花后 14 d 到 21 d 4 个品种 YM66、WM8、XY22、WM6 的 ϕPS II 分别下降了 25.0%、26.5%、40.7%、47.0%;在花后 21 d 时持绿型小麦 YM66 和 WM8 的 ϕPS II 比对照品种 XY22 分别高出 37.7% 和 39.2%,而早衰型小麦品种 WM6 比对照品种降低了 14.4%,从花后 14 d 到 21 d 4 个品种 YM66、WM8、XY22、WM6 的 ETR 分别下降了 26.0%、28.0%、35.5%、

51.6%;在花后 21 d 时持绿型小麦 YM66 和 WM8 的 ETR 比对照品种 XY22 分别高出 25.4% 和 21.8%, 而早衰型小麦品种 WM6 比对照品种降低了 37.1%。可见,持绿型小麦品种叶片 $\phi PS II$ 和 ETR 下降速率较非持绿型小麦品种缓慢,并且一直维持在较高的

水平,这说明持绿型小麦品种在叶片衰老减慢的同时,光合作用的光化学反应和光合电子传递维持时间较长,也说明本试验中的两个持绿型小麦有功能的持绿。

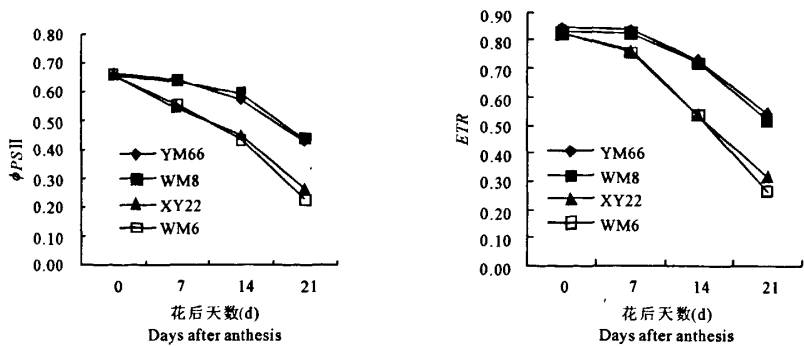


图 6 不同冬小麦品种 PS II 实际光化学效率($\phi PS II$)和表观光合电子传递速率(ETR)的变化
Fig.6 The variations of $\phi PS II$ and ETR of different varieties of winter wheat

2.7 不同小麦品种产量构成的比较

从表 1 可以看出,持绿型小麦在穗长、籽粒产量、总生物量等方面都明显高于非持绿型小麦,其中 YM66 和 WM8 两个持绿型小麦品种籽粒产量、总生

物量的平均值分别比当地对照品种 XY22 分别高出了 10.48%、15.99%。但持绿型小麦的收获指数却比当地对照品种低,可能是由于持绿而使得部分营养物质没有充分转运到籽粒中。

表 1 不同小麦品种产量构成
Table 1 The constitution of yield of different wheat varieties

品种 Varieties	穗长 Ear length (cm)	穗重 Ear weight (g)	穗粒数 Kernels per spike	千粒重(g) 1000-grain weight	籽粒产量(g/10 株) Seed yield (g/10 plant)	总生物量(g/10 株) Total biomass (g/10 plant)	收获指数 Harvest index (%)
YM66	10.8a	2.3854	41.87a	34.6983c	14.7092a	30.9667a	47.50b
WM8	9.22b	1.9997	30.27b	42.9909a	13.0345b	27.5967b	47.23b
XY22	6.61c	2.1284	33.33b	37.7952b	12.5558bc	25.2450c	49.74a
WM6	7.35c	2.0622	26.27c	43.815a	11.5239c	24.7889c	46.49c

注:表中不同字母表示在 0.05 水平上差异显著。
Note: Different letters mean significant difference at 0.05 level.

3 讨 论

1) 绿叶面积是决定作物产量的重要因素之一^[16],叶绿素含量既是叶片的衰老指标,也是光合功能的重要性状。以往的研究发现小麦叶片衰老过程中,生育后期叶片快速枯黄,光合色素含量迅速下降,MDA 含量不断升高。本研究结果表明,持绿型小麦叶片开花后绿叶面积下降幅度较小,生育后期还能保持部分叶片呈现绿色,绿叶面积持续时间长;叶片光合色素含量降低缓慢,后期含量较高;持绿型小麦叶片中 MDA 的含量始终低于非持绿型小麦品种,特别是生育后期上升缓慢,仍然能够维持在较低的水平,而非持绿型小麦与此相反。由此可以说明

持绿型小麦在生育后期叶片衰老缓慢,膜脂过氧化程度较轻,能够保持较高的绿叶面积和较长的绿叶面积持续期。

2) Thomas 根据基因在叶片衰老中的作用方式和表达时间的不同将持绿作物分为 4 种类型^[17]。其中:A 型是叶片衰老过程启动延迟,高光合作用时间延长的类型;而 B 型是指叶片衰老正常开始,但衰老速率比正常缓慢,C 型和 D 型是表观持绿,在生产上没有利用价值;而 A 型和 B 型是有功能的持绿,可以在生产上应用。叶绿素荧光动力学技术在测定叶片光合作用过程的光系统对光能的吸收、传递、耗散、分配等方面具有独特的作用^[18-21],与“表观性”的气体交换指标相比,叶绿素荧光参数更具有

反映“内在性”特点。本文从叶片光能吸收、传递、转化特性等方面进行了探讨,分析持绿型小麦和非持绿型小麦品种光合作用内在机理方面的差异。结果表明不同小麦品种开花后旗叶的 F_v/F_o 、 F_v/F_m 、PS II 的实际光化学效率 $\phi PS II$ 、光化学猝灭系数 qP 和 ETR 都有降低的趋势,表明在叶片衰老的后期 PS II 电子传递、PS II 光化学效率和电子传递速率都有所降低,而热耗散加强;不同冬小麦品种的非光化学猝灭系数 qN 则呈增加的趋势,在生育后期更加明显。但持绿型小麦具有较高的 PS II 的潜在活性和光化学效率,光能的捕获效率、光化学电子传递份额和电子传递效率的降低幅度小,说明后期光合机构保持完整,有较高的光合功能。

3) 大量研究表明有效的绿叶面积与光合特性、籽粒产量的形成密切相关,是小麦育种实践和高产栽培研究中常用的指标。50 多年前,不少学者就意识到作物产量的高低取决于光合持续时间的长短,而不是光合速率。Watson 提出了叶面积持续期的概念,Borojevic 和 Wolf 等发展了这一概念,这就引入绿叶面积功能期(Green area duration)的概念,该参数与产量的相关性好于叶面积持续期;而且绿叶面积功能期越长,小麦产量就越高。目前,国内外学者一致认为,保持叶片绿色,延缓叶片衰老,延长小麦叶片的光合作用时间能显著提高小麦产量;花后叶片衰老,绿叶面积减少,光合时间缩短,会明显降低籽粒产量^[4,11]。本试验研究结果表明,持绿型小麦品种的绿叶面积明显大于非持绿型小麦品种,特别是生育后期绿色面积下降缓慢,叶片衰老缓慢,有利于延长光合时间,而非持绿型小麦与此相反;因此持绿型小麦在籽粒产量和生物学产量上都表现出明显的优势,值得进一步推广。

参考文献:

- [1] Spano G, Fonzo Di N, Perrotta C. Physiological characterization of stay green mutants in durum wheat [J]. *Journal of Experimental Botany*, 2003, 54(386): 1415—1420.
- [2] LUO Peigao, REN Zhenglong, WU Xianhua, et al. Structural and biochemical mechanism responsible for the stay - green phenotype in common wheat [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2006, 51(21): 2595—2603.
- [3] Howard Thomas, Catherine J. Howarth. Five ways to stay green [J]. *Journal and Experimental Botany*, 2002, 51(1): 329—337.
- [4] Dwyer L M, Tollenaar M. Genetic Improvement in Photosynthetic Response of Hybrid Maize Cultivars, 1959 to 1989 [J]. *Plant Science*, 1989, 69: 81—91.
- [5] Xu W W, Rosenow D T, Nguyen H T. Stay green trait in grain sorghum: Visual rating and objective measuring [J]. *Plant Breeding*, 2000, 119: 365—367.
- [6] Guamet JJ, Giannibelli MC. Nuclear and cytoplasmic “stay green” Mutations of soybean alter the loss of leaf soluble proteins during senescence [J]. *Plant Physiol*, 1996, 96: 665—661.
- [7] Guamet JJ, Schwartz E, Pichersky E, Nooden LD (1991) Characterization of cytoplasmic and nuclear mutations affecting chlorophyll and chlorophyll-binding proteins during senescence in soybean [J]. *Plant Physiol*, 1996, 96: 227—231.
- [8] Gentinetta E, Ceppi D, Lepori C. A major gene for delayed senescence in maize. Pattern of photo-synthates accumulation and inheritance [J]. *Plant Breeding*, 1986, 97: 193—203.
- [9] Richard S. Inheritance of the Stay Green Trait in Sorghum [J]. *Crop Science*, 1994, 34: 970—972.
- [10] 胡廷积, 杨永光, 马元喜, 等. 小麦生态与生产技术 [M]. 河南: 河南科学技术出版社, 1986: 19—23.
- [11] 董树亭, 王空军, 胡昌浩, 等. 玉米品种更替过程中群体光合特性的演变 [J]. *作物学报*, 2000, 26(2): 200—204.
- [12] 何 萍, 金继运. 保绿型玉米的营养生理研究进展 [J]. *玉米科学*, 2000, 8(4): 41—44.
- [13] 何 萍, 金继运. 氮素营养对不同衰老类型玉米碳氮化合物解积的影响 [C] // 青年学者论土壤与植物营养科学. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [14] 杨俊峰, 龚月桦, 王俊儒, 等. 旱地覆膜对小麦干物质积累及转运特性的影响 [J]. *麦类作物学报*, 2005, 25(6): 96—99.
- [15] 高俊凤, 孙 群, 梁宗锁, 等. 植物生理学实验技术 [M]. 西安: 世界图书出版社, 2000.
- [16] 许大全, 沈允钢. 光合作用与作物产量 [C] // 作物高产高效生理学研究进展. 北京: 科学出版社, 1996: 17—24.
- [17] Thomas H. Crops that stay green [J]. *Annals of applied biology*, 1993, 123(1): 193—219.
- [18] 于显枫, 郭天文, 张绪成, 等. 水氮互作对春小麦叶片气体交换参数和叶绿素荧光参数的作用机制 [J]. *西北农业学报*, 2008, 17(3): 117—123.
- [19] 赵丽英, 邓西平, 山 仑. 不同水分处理下冬小麦旗叶叶绿素荧光参数的变化研究 [J]. *中国生态农业学报*, 2007, 15(1): 63—66.
- [20] 周 梅, 赵 炎, 盖树鹏, 等. 三种不同衰老类型牡丹叶片叶绿素荧光特征的比较 [J]. *山东农业科学*, 2008, 3: 43—47.
- [21] ZHENG Yue - jin, YANG Yue - qin, LIANG Shan - shan, et al. Effect of Methanol on Photosynthesis and Chlorophyll Fluorescence of Flag Leaves of Winter wheat [J]. *Agricultural Sciences in China*, 2008, 7(4): 432—437.

(英文摘要下转第 127 页)

- [17] 徐丽萍,喻方园,上官新展. 秤锤树插穗过氧化物酶活性及其同工酶的变化[J]. 南京林业大学学报, 2008, 32(4): 143—146.
- [18] 王同坤,余凤鸣,刘庆香. 板栗叶片过氧化物酶活性与植株大

小及新梢生长量关系的探讨[J]. 河北农业技术师范学院学报, 1991, 5(4): 28—32.

Analysis of peroxidase isoenzymes from different callus of *Glycyrrhiza uralensis*

CAO Jun-mai, QI Jin-tao, LIU Jian-li, YAN Xing-fu, LI Man

(College of Biological Science and Engineering, North University for Nationalities, Yinchuan, Ningxia 750021, China)

Abstract: The electrophoretic patterns of peroxidase isoenzymes and peroxidase activity of callus induced from the rhizome, bud and leaf of *Glycyrrhiza uralensis* were analyzed with PAGE and spectrophotometry. The results demonstrated that the electrophoretic patterns of peroxidase isoenzymes from different callus were divided into A, B and C regions, in which the regions of A and C were the most active. All had 3 kinds of patterns and 6 bands. Meanwhile, the order of peroxidase activity from different callus were leaf > buds > rhizome. But too high peroxidase activity was not beneficial to the development of callus. P2 and P6 were common bands in 3 kinds of explants, while P1, P3, P4 and P5 were different bands. These could be used to identify *Glycyrrhiza uralensis* from other species and to study the differentiation and redifferentiation of *Glycyrrhiza uralensis*.

Keywords: *Glycyrrhiza uralensis*; callus; peroxidase isoenzyme

(上接第 122 页)

Study on senescence and chlorophyll fluorescence traits of stay-green leaf in wheat

WU Yong-sheng, XUE Hui, LIU Yang, GONG Yue-hua

(College of Life Sciences, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: In order to investigate thoroughly the senescence and chlorophyll fluorescence traits of stay-green leaf in wheat, and to provide some theoretical base to screen for high yield wheat varieties in Northwest China, the green leaf area, pigment content, MDA content and the chlorophyll fluorescence parameters after anthesis were measured in 4 winter wheat varieties. The result showed that: (1) The green leaf area of stay-green wheat was obviously higher than non stay-green wheat, it decreased slowly at the late grain filling stage. (2) The pigment content of leaf in stay-green wheat decreased more slowly at the late grain filling stage. (3) The MDA content of leaves in wheat showed an increasing trend, but the MDA content of stay-green wheat increased more slowly and kept a lower level than non stay-green wheat. (4) During the late grain filling, the F_v/F_m , F_v/F_o , qP , $\phi PS II$ and ETR of stay-green wheat were obviously higher than the non stay-green wheat, but the qN of stay-green wheat was obviously lower than the non stay-green wheat. (5) The grain yield of stay-green wheat was high. All these suggested that the slower leaf senescence and longer photosynthesis period at the late grain filling stage of stay-green wheat led to a higher yield. So the stay-green wheat has better production superiority.

Keywords: stay-green; wheat; green leaf area; chlorophyll fluorescence