

基于主成分分析的高光效小麦品种筛选

齐玲羽, 李豪杰, 欧行奇, 王文定, 朱启迪, 郑梦瑶, 李新华, 郑会芳* (河南科技学院生命科技学院, 河南新乡 453003)

摘要 探讨不同小麦品种光合性能, 筛选高光效小麦品种, 对促进小麦高光效育种研究进程奠定重要基础。选用河南省新中国成立以来 28 个主推品种, 通过测定小麦灌浆期旗叶的叶绿素含量、叶绿素荧光参数等, 采用主成分分析法对 28 个小麦品种的 13 个光效率相关指标进行研究。结果表明, 不同小麦品种间 13 个光效率指标变异系数为 2.33%~26.53%。主成分分析提取的前 3 个主成分累计贡献率为 88.22%, 表明能全面反映光效率信息。基于光效率综合得分和小麦产量, 筛选出高产高光效品种(百农 307、周麦 16、洛麦 6 号、内乡 188、豫麦 49、郑麦 7698 和百农 207)、低产高光效品种(豫麦 10、豫麦 21、豫麦 25 和周麦 27)、高产低光效品种(矮抗 58、宝丰 7228、高优 503、温 6、西农 979、豫麦 34、郑麦 366、郑麦 9023 和周麦 18)和低产低光效品种(阿勃、阿夫、辉县红、陕农 7859、西安 8 号、豫麦 54、豫麦 18 和豫麦 13)。

关键词 高光效小麦品种; 主成分分析; 叶绿素荧光参数; 叶绿素含量; 产量

中图分类号 S512.1 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2022)11-0018-04

doi:10.3969/j.issn.0517-6611.2022.11.006



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Selection of High Photosynthetic-efficiency Wheat Varieties Based on Principal Component Analysis

QI Ling-yu, LI Hao-jie, OU Xing-qi et al (College of Life Science and Technology, Henan Institute of Science and Technology, Xinxiang, Henan 453003)

Abstract To explore the photosynthetic performance of different wheat varieties and screen high photosynthetic efficiency wheat varieties, and to provide an important foundation for promoting high photosynthetic efficiency of wheat breeding research process, we measured the changes of chlorophyll content and chlorophyll fluorescence parameters of 28 representative wheat cultivars in Henan Province since the founding of new China. And the principal component analysis method was used to study the 13 photosynthetic efficiency indexes of 28 wheat cultivars. Results showed that the coefficient of variation of 13 photosynthetic efficiency indexes was 2.33%~26.53%. The cumulative contribution rate of the first three principal components extracted by principal component analysis was 88.22%, which fully reflected the photosynthetic efficiency information. Combining with the comprehensive scores of high photosynthetic efficiency of each wheat variety and grain yield, the high yield photosynthetic efficiency wheat varieties were Bainong 307, Zhoumai 16, Luomai 6, Neixiang 188, Yumai 49, Zhengmai 7698 and Bainong 207; the low yield and high photosynthetic efficiency varieties were Yumai 10, Yumai 21, Yumai 25 and Zhoumai 27; the high yield and low photosynthetic efficiency varieties were Aikang 58, Baofeng 7228, Gaoyou 503, Wen 6, Xinong 979, Yumai 34, Zhengmai 366, Zhengmai 9023 and Zhou 18; and low yield, photosynthetic efficiency varieties were A Bo, A Fu, Huixianhong, Shaanong 7859, Xi'an 8, Yumai 54, Yumai 18 and Yumai 13.

Key words Photosynthetic efficiency wheat varieties; Principal component analysis; Chlorophyll fluorescence parameters; Chlorophyll content; Yield

光合作用强弱是决定小麦产量积累的重要因素, 在形成作物产量的干物质中 90%~95% 的有机物来自叶片的光合作用^[1-2], 因此高光效育种一直是作物光合研究和育种领域关注的热点。小麦是我国两大口粮作物之一, 其产量的高低直接关乎国家的粮食安全, 而黄淮海麦区是我国冬小麦的主产区和高产区, 围绕黄淮海麦区小麦种质资源的光合性能研究有利于筛选高光效小麦种质资源, 建立黄淮海高光效小麦种质资源库, 为最终选出适宜黄淮海地区的高光效小麦品种奠定基础。

同一作物不同品种间光合效率存在明显的基因型差异, 具有相对稳定的遗传特性, 为开展作物高光效品种的选育工作奠定了良好的基础^[3]。随着遥感技术的发展, 主动式遥感技术如利用叶绿素荧光信号在植物自身的生理状态或对外界环境因素的响应监测方面已被广泛应用^[4]。前人研究表明, 叶绿素荧光参数可以反映叶片光合能力的“内在性”特征^[5], 以及较好的评价作物抗逆性^[6]、品种光合性能^[7]等, 尤

其是在自然条件下无伤害监测植物叶片光合性能发挥着重要的作用。同时, 结合主成分分析方法, 有利于将作物不同品种按照多个叶绿素荧光参数综合分类, 这有利于反映品种光合的综合性状, 从而提高选择的效率和预见性^[8]。

目前, 国内外研究者在小麦作物上已培育出一批高光效品种, 并在生产应用中取得了光合效率与产量、抗性同步提高的效果^[9]。部分研究针对几个品种从生理、分子等角度解析了光合性能, 然而系统性针对黄淮海麦区不同年代小麦高光效品种筛选仍鲜见报道。此外, 传统育种在筛选高光效品种工作时比较烦琐且效率低, 亟待寻求快速高效的筛选技术来鉴定作物的高光效种质资源, 评估品种对高光效响应, 降低高光效潜质品种的淘汰率^[9]。鉴于此, 笔者以 28 份来自黄淮海地区的小麦种质资源为试材, 利用 Handy PEA 测定叶绿素荧光参数, 利用主成分分析方法筛选一批高光效小麦种质资源, 逐步建立黄淮海高光效小麦种质资源库, 为选育黄淮海地区的高光效小麦品种提供理论和材料基础。

1 材料与方法

1.1 试验地概况 试验于 2019 年 10 月—2020 年 6 月在河南省新乡市辉县市北云门镇河南科技学院小麦育种基地(35.43°N, 113.75°E)进行。该区域属暖温带大陆性季风型气候, 多年平均气温 14.1℃左右, 年均降水量 582 mm, 主要

基金项目 河南省自然科学基金项目(212300410144); 河南省科技攻关项目(212102110296)。

作者简介 齐玲羽(1996—), 女, 河南新乡人, 硕士研究生, 研究方向: 小麦栽培。* 通信作者, 讲师, 博士, 从事小麦高产栽培研究。

收稿日期 2021-09-04

集中在7—9月,占全年65%~75%,年均蒸发量2 000 mm。该试验地0~20 cm土壤质地为轻砂壤土,土壤容重为1.38 mg/kg,有机质含量为11.6 g/kg,土壤全氮0.89 mg/kg,速效磷18.5 mg/kg,速效钾106 mg/kg。

1.2 试验材料 该试验共选用28个曾在华北平原广泛种植的小麦品种,具体见表1。

表1 小麦品种名称
Table 1 Names of wheat varieties

编号 Number	品种名称 Variety name	编号 Number	品种名称 Variety name
1	阿勃	15	豫麦 10
2	阿夫	16	豫麦 13
3	矮抗 58	17	豫麦 18
4	百农 307	18	豫麦 21
5	宝丰 7228	19	豫麦 25
6	高优 503	20	豫麦 34
7	辉县红	21	豫麦 49
8	洛麦 6 号	22	郑麦 366
9	内乡 188	23	郑麦 7698
10	陕农 7859	24	郑麦 9023
11	温 6	25	周麦 18
12	西安 8 号	26	周麦 16
13	西农 979	27	周麦 27
14	豫 54	28	百农 207

1.3 试验设计 试验采用单因素随机区组设计,设置3个重复,共84个小区,每个小区面积为6.6 m²。播种量为150 kg/hm²,播种时间为2019年10月2日,采用自走式数控小区条播播种机进行播种,收获时间为2020年6月4日。试验田小麦播种前一次性施肥,施肥量为金正复合肥1 200 kg/hm²(N-P₂O₅-K₂O为18-12-10),其他栽培管理同当地一般大田管理方式。

1.4 测定项目及方法 在灌浆期用日本美能达 SPAD-502 叶绿素快速分析仪测定旗叶 SPAD 值,测定部位为旗叶中部。叶绿素荧光参数采用 Handy-PEA(Plant Efficiency Analyser; Hansatech Instrument Ltd., UK) 叶绿素荧光仪测定(叶片暗适应 30 min 后测量),测定部位与 SPAD 测定部位相同,每个重复测定 5 株。叶绿素荧光参数主要包括 PI abs、F_o/F_m、F_v/F_m、ABS/RC、DI_o/RC、TR_o/RC、DI_o/CS_o、DI_o/CS_m、

Ψ_o、S_m、V_j、ΦE_o,每个指标的含义见表2。

小麦成熟期在各小区选取2个生长均匀、不缺苗断垄、具有小区代表性的1 m 行长进行收获,记录穗数,计算单位面积穗数。脱粒后折合计算单位面积籽粒产量(含水量为14%),并从样品中测定千粒重。小麦成熟期田间各小区中间选取相邻的20个穗,数其粒数,计算穗粒数。

表2 JIP-测定所用的快速叶绿素荧光诱导动力学曲线(O-J-I-P)的参数

Table 2 Formulae and glossary of terms used in the JIP-test in the analysis of the O-J-I-P fluorescence transient

序号 Code	项目 Item	参数含义 Parameter mean
1	PI abs	以吸收光能为基础的性能指数
2	F _o /F _m	反应中心激发能利用中光化学反应和非光化学淬灭速率比
3	F _v /F _m	PSII 最大光化学效率
4	ABS/RC	单位反应中心吸收的光能
5	DI _o /RC	单位反应中心耗散掉的能量(在 t = 0 时)
6	TR _o /RC	单位反应中心捕获的用于还原 Q _A 的能量(在 t = 0 时)
7	DI _o /CS _o	单位面积的热耗散(在 t = 0 时)
8	DI _o /CS _m	单位面积的热耗散(在 t = TFM 时)
9	Ψ _o	反应中心捕获的激子中用来推动电子传递到电子传递链中超过 Q _A 的其他电子受体的激子占用来推动 Q _A 还原激子的比率(在 t = 0 时)
10	S _m	整个系统库内,直到所有 Q _A 均被还原时,所能承载电子的能力
11	V _j	在 j 点的相对可变荧光强度
12	ΦE _o	用于电子传递的量子产额(在 t=0 时)
13	Chl	叶绿素含量

1.5 数据处理 采用 Microsoft Excel 2007 统计数据;采用 R 语言软件(www.r-project.org)进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同小麦品种间光合性能指标的差异分析 由表3可知,28个小麦品种在PI abs、F_o/F_m、F_v/F_m、ABS/RC、DI_o/RC、TR_o/RC、DI_o/CS_o、DI_o/CS_m、ET_o/TR_o、S_m、V_j、ΦE_o和Chl存在不同程度的差异。结果显示,各指标的变异系数有一定程度的变化,其变异系数为2.33%~26.53%,其中PI abs的变异系数最大,为26.53%,其次为DI_o/RC(18.24%),F_v/F_m的变异系数最小(2.33%)。可见,这些性状在品种间存在一定的差异。

表3 供试小麦品种光效率指标分析

Table 3 Analysis of photosynthetic efficiency indexes among different wheat varieties

项目 Item	PI abs	F _o /F _m	F _v /F _m	ABS/RC	DI _o /RC	TR _o /RC	DI _o /CS _o	DI _o /CS _m	Ψ _o	S _m	V _j	ΦE _o	Chl
最小值 Minimum	2.13	0.14	0.77	1.52	0.23	1.29	61.28	359.00	0.56	20.10	0.28	0.45	34.96
最大值 Maximum	7.39	0.24	0.86	2.52	0.55	1.97	120.70	562.00	0.72	41.22	0.44	0.57	53.11
标准差 SD	1.18	0.02	0.02	0.19	0.07	0.14	13.85	40.35	0.02	4.99	0.02	0.03	4.19
平均值 Mean	4.44	0.18	0.82	2.02	0.36	1.66	81.68	459.26	0.65	27.81	0.35	0.53	43.22
变异系数 CV//%	26.53	10.85	2.33	9.61	18.24	8.46	16.96	8.79	3.54	17.94	6.53	4.80	9.70

2.2 不同小麦品种光效率的综合评价

2.2.1 光效率指标主成分提取。光效率各指标具有不同的

量纲与数量级,为了避免其对结果的影响,确保试验数据科学性,便于各指标综合比较,主成分分析前必须对原始数据

进行标准化处理,主成分确定标准是累积贡献率 $>85.0\%$ ^[10]。基于碎石图分析并结合数据结果,前3个主成分的累计贡献率达到88.3%(表4,图1)。第一主成分的特征值为2.723,贡献率为57.2%,主要包括PI abs(载荷值为0.357)、 F_v/F_m (0.320)、 ΦE_o (0.305)、 ET_o/TR_o (0.207)、Chl(0.175)和 S_m (0.112)。第一主成分主要反映了PI abs、 F_v/F_m 和 ΦE_o 。 DI_o/RC 和ABS/RC的载荷值(-0.355和-0.325)绝对值均较大,说明在小麦改良过程中,降低 DI_o/RC 和ABS/RC可以提高光利用率。第二主成分的特征值为1.541,贡献率为18.3%,主要反映了 ET_o/TR_o (载荷值为0.496)、 DI_o/CS_m (0.414)和 ΦE_o (载荷值为0.353), V_j 的载荷值(-0.496)绝对值最大,说明光合利用效率可以通过降低 V_j 实现目标。第三主成分的特征值为1.288,贡献率为12.8%,主要反映了 S_m (载荷值为0.557)和 F_o/F_m (载荷值为0.348), TR_o/RC 的载荷值(-0.362)的绝对值最大,说明小麦改良遗传中,适度降低 TR_o/RC 可以提高光合利用效率。

2.2.2 光效率主成分得分及综合评价。主成分是原各指标的线性组合,各指标的权数为特征向量,它表示各单项指标对于主成分的重要程度并决定了该主成分的实际意义^[11]。结合各主成分的方差贡献率,得出不同小麦品种的光效率综合评价函数 $F=0.572F_1+0.183F_2+0.128F_3$ 。其光效率综合得分 F 值大于0的品种分别为(综合得分从大到小)百农

307、百农207、内乡188、豫麦10、洛麦6号、周麦27、周麦16、豫麦25、郑麦7698、豫麦49和豫麦21(表5)。

表4 光效率主成分的特征值、贡献率、累计贡献率和成分载荷矩阵

Table 4 Eigenvalues, variance contribution rate, cumulative contribution rates and rotated component matrix of the principal components of photosynthetic efficiency

性状 Trait	F_1	F_2	F_3
PI abs	0.357	0.054	0.069
F_o/F_m	-0.320	0.007	0.348
F_v/F_m	0.320	-0.008	-0.348
ABS/RC	-0.325	0.151	-0.220
DI_o/RC	-0.355	0.071	0.123
TR_o/RC	-0.284	0.175	-0.362
ET_o/TR_o	0.207	0.496	0.182
ET_o/ABS	0.305	0.353	-0.033
DI_o/CS_o	-0.307	0.221	0.294
DI_o/CS_m	-0.197	0.414	0.107
V_j	-0.207	-0.496	-0.182
S_m	0.112	-0.294	0.557
Chl	0.175	-0.122	0.288
特征值 Eigenvalue	2.723	1.541	1.288
贡献率 Contribution rate//%	57.2	18.3	12.8
累计贡献率 Cumulative contribution rate//%	57.2	75.5	88.3

表5 不同小麦品种光效率主成分综合评价及排序

Table 5 Principal component comprehensive evaluation and ranking of photosynthetic efficiency of different wheat varieties

序号 Code	品种名称 Variety name	F_1	F_2	F_3	F	排序 Rank
1	阿勃	-3.493	-0.078	0.855	-1.903	27
2	阿夫	-2.684	0.170	1.023	-1.373	25
3	矮抗58	-0.811	-0.423	0.151	-0.522	20
4	百农307	5.492	-1.575	1.601	3.059	1
5	宝丰7228	-1.042	-0.237	-0.512	-0.705	9
6	高优503	0.336	-0.686	-1.339	-0.105	14
7	辉县红	-3.769	0.639	1.143	-1.892	26
8	洛麦6号	0.922	0.423	-0.299	0.566	5
9	内乡188	3.427	0.745	-0.691	2.008	3
10	陕农7859	-1.481	-0.262	-0.839	-1.002	22
11	温6	-0.620	0.609	0.055	-0.236	17
12	西安8号	-1.991	0.573	-0.859	-1.144	24
13	西农979	-0.302	0.223	-0.116	-0.147	15
14	豫麦54	-0.136	-0.363	0.531	-0.076	12
15	豫麦10	0.917	1.359	-1.132	0.628	4
16	豫麦13	-4.549	-1.924	0.051	-2.948	28
17	豫麦18	0.718	-1.606	-1.524	-0.079	13
18	豫麦21	0.069	0.886	-0.615	0.123	11
19	豫麦25	0.630	0.804	-2.016	0.250	8
20	豫麦34	-0.343	0.312	-0.476	-0.200	16
21	豫麦49	0.439	-0.061	-0.786	0.139	10
22	郑麦366	-0.269	-0.656	-0.345	-0.318	19
23	郑麦7698	-0.181	1.034	0.945	0.206	9
24	郑麦9023	-2.225	0.307	0.592	-1.141	23
25	周麦18	-0.475	0.142	-0.550	-0.316	18
26	周麦16	-0.329	1.951	1.681	0.384	7
27	周麦27	0.896	-0.010	-0.434	0.455	6
28	百农207	4.701	-1.255	1.487	2.650	2

2.2.3 高光效小麦品种的筛选。以小麦产量及每个品种的光效率综合得分做散点图,将 28 个小麦品种进行分类,大致分为 4 类(图 1A),分别为高产高光效型(HH)、低产高光效型(LH)、低产低光效型(HL)和高产低光效型(HL)。

2.2.3.1 高产高光效型(HH)。该类小麦的产量均高于 28 个品种的平均值,且光效率综合得分均高于 0,位于图 1A 中的 HH 区,主要包括百农 307、周麦 16、洛麦 6 号、内乡 188、豫麦 49、郑麦 7698 和百农 207。其中 4 个品种(百农 307、洛麦 6 号、周麦 16 和百农 207)的叶绿素含量水平均高于 28 个品种的平均叶绿素含量。而内乡 188、豫麦 49 和郑麦 7698 均属于低叶绿素含量品种(图 1B)。

2.2.3.2 低产高光效型(LH)。该类小麦的产量低于所有品种产量的平均值,且光效率综合得分则高于 0,位于图 1A 中的 LH 区,主要涉及豫麦 10、豫麦 21、豫麦 25 和周麦 27。而这些品种同时均属于低叶绿素含量品种(图 1B)。

2.2.3.3 低产低光效型(LL)。该类小麦的产量均低于 28 个品种的平均值,且光效率综合得分低于 0,位于图 1A 中的 LL 区,主要包括阿勃、阿夫、辉县红、陕农 7859、西安 8 号、豫麦 54、豫麦 18 和豫麦 13。其中,小麦品种阿勃、阿夫、辉县红、豫麦 18 和豫麦 13 的叶绿素含量也均低于 28 个品种的平均值,而叶绿素含量在陕农 7859、西安 8 号和豫麦 54 表现较高水平(图 1B)。

2.2.3.4 高产低光效型(HL)。该类小麦的产量高于所有品种产量的平均值,且光效率综合得分则低于 0,位于图 1A 中的 HL 区,主要包括矮抗 58、宝丰 7228、高优 503、温 6、西农 979、豫麦 34、郑麦 366、郑麦 9023 和周麦 18。其中,宝丰 7228、温 6、西农 979、郑麦 366 和郑麦 9023 的叶绿素含量也均高于 28 个品种的平均值,而矮抗 58、高优 503、豫麦 34 和周麦 18 属于低叶绿素含量高产类型品种(图 1B)。

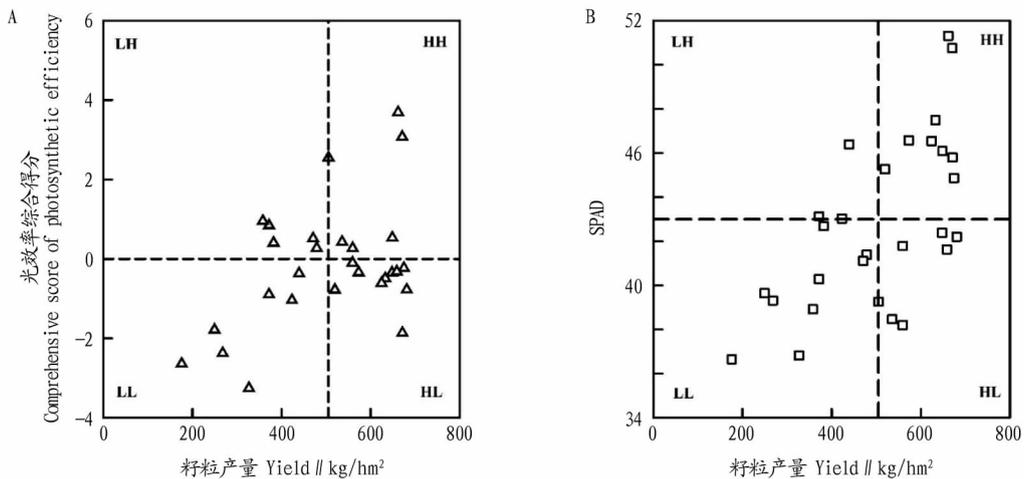


图 1 基于四分法对不同光效率小麦品种分类

Fig.1 Classification of wheat varieties with different photosynthetic efficiencies based on four-way division method

3 结论与讨论

光合作用是作物产量形成的重要基础。高光效材料的筛选鉴定是提高光合利用效率和作物产量的有效途径,是品种选育的重要基础^[12]。而叶绿素荧光诱导动力学曲线参数和叶绿素含量可间接用来检测无损叶片光合性能^[13]。小麦品种众多,不同基因型小麦在不同生态环境下的表型特征及生态适应性不同。研究表明,小麦光合荧光参数、叶绿素含量和产量等存在明显的基因型差异,均可作为作物高光效品种筛选和鉴定的指标^[13-14]。该研究结果显示,不同品种光效率指标间存在不同程度的差异,其变异系数达 26.53%,说明品种间具有较大筛选潜力。

作物生长发育易受多个外界环境条件的影响,且对不同特性的影响程度也不尽相同,因此有关作物光高效率评价指标体系和评价指标选用不同。主成分分析法是在损失很少信息的前提下,把多个指标利用降维方式转化为几个综合指标的多元统计方法^[15]。该研究将 13 个小麦光效率指标通过主成分分析转化为 3 个相互独立的综合指标,避免了原始信息重叠干扰^[16]。根据客观赋权法,以贡献率为每个主成分

的权重,采用四分法筛选出高产高光效品种(百农 307、周麦 16、洛麦 6 号、内乡 188、豫麦 49、郑麦 7698 和百农 207)、低产高光效品种(豫麦 10、豫麦 21、豫麦 25 和周麦 27)、高产低光效品种(矮抗 58、宝丰 7228、高优 503、温 6、西农 979、豫麦 34、郑麦 366、郑麦 9023 和周麦 18)和低产低光效品种(阿勃、阿夫、辉县红、陕农 7859、西安 8 号、豫麦 54、豫麦 18 和豫麦 13)。以上结果采用主成分综合得分法分析,消除了评价指标间的相互影响,评价结果可靠性较强。值得一提的是,品种间在不同环境水平下其光效率综合得分可能会存在一定差异,有待进一步深入探讨环境条件如何驱动光效率综合得分,使得更准确筛选出高光效品种。

尽管叶绿素含量的增加有利于叶片对光能的吸收,但并不意味着光合作用能力和作物产量也会增加^[17-18]。分析结果显示,部分叶绿素含量较高的品种,其产量和光效率综合得分表现较低;相反叶绿素含量较低的品种,但有较高的产量和光效率综合得分,这与前人在其他作物中研究结果相似^[19],表明叶绿素含量的高低可能并不能单独作为现代小

(下转第 26 页)

较高产量、产值。

从内在化学成分来看,处理 R6、R7、R1 中部叶的化学成分较适宜、协调。处理 R6、R7、R8 上部叶的化学成分较适宜、协调。

4 讨论

研究表明,赣江瑞金播种期相同而移栽期提前对生育进程有一定的影响,早栽有利于烟株大田生长和有效叶片数的提高,叶片身份更好,等级结构优于晚栽处理,对烟株早生快发作用明显;随着移栽期的推迟,大田生育期缩短,这与彭耀东等^[8,16]的研究结果相同;播种期相同而移栽期提前对前期虽然早生快发但是在成熟后期却出现早衰现象,这与前人研究结果相似。田间长势表明,团棵期前苗龄短的处理叶片更宽圆,叶色更嫩绿。苗龄以 55 d 为宜,烟苗素质更好,利于烟株早生快发。适时、适龄移栽有利于提高烤烟的产量、产值和上等烟比例,这与樊芬等^[17-18]的研究结果一致。

研究结果显示,在瑞金烟区,烤烟育苗时间 12 中下旬、移栽时间 2 月底到 3 月初、苗龄 55 d 的处理有利于促进烟株发根和早生快发,提升烟叶产量和品质。

参考文献

[1] 王彦亭,谢剑平,李志宏. 中国烟草种植区划[M]. 北京: 科学出版社, 2009.

- [2] 中国农业科学院烟草研究所. 中国烟草栽培学[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2005: 26-32.
- [3] 王克占,孙伟奇,王玉军. 不同移栽时间对烟草长势及烟叶产量、质量的影响[J]. 山东农业科学, 2009, 41(2): 48-49, 61.
- [4] 王政,李承荣,胡建斌,等. 不同苗龄移栽对烤烟生长发育及其产值和品质的影响[J]. 广西烟草, 2006(3): 14-16.
- [5] 陈乾锦,吴悦,兰振泉. 不同播栽期对云烟 97 烟叶产质量的影响[J]. 现代农业科技, 2013(1): 24-25.
- [6] 杨庆根,饶文平,申昌优,等. 不同苗龄并窖式移栽对烟叶产质量的影响[J]. 农业科技通讯, 2017(1): 60-62, 65.
- [7] 李小勇,肖荣贵,胡蓉花,等. 不同播种期和移栽期对烤烟生长发育、产量和质量的影响[J]. 江西农业学报, 2019, 31(7): 81-86.
- [8] 彭耀东,胡毅肿,张正杨,等. 并窖式移栽不同移栽期与苗龄对烤烟产质量的影响[J]. 广东农业科学, 2017, 44(2): 25-31.
- [9] 洪其珉. 烟草栽培[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1983.
- [10] 彭新辉,易建华,周清明. 气候对烤烟内在质量的影响研究进展[J]. 中国烟草科学, 2009, 30(1): 68-72.
- [11] 王鑫,沈煊梅,李春英,等. 烤烟品种 K346 适宜播种期及生育特性初探[J]. 中国烟草科学, 2001, 22(3): 42-44.
- [12] 朱续熹,孙再军. 烟苗素质对移栽后农艺性状的影响[J]. 安徽农业科学, 2007, 35(4): 1061-1062.
- [13] 陈建军,吕永华,王维. 烟草品质生理及其调控研究[M]. 广州: 华南理工大学出版社, 2009: 65-97.
- [14] 刘崇山. 试论皖南优质烟播栽期[J]. 中国烟草, 1990, 11(3): 33-35.
- [15] 刘毅,陈仁霄,黄林海,等. 云烟 105 和 NC297 在江西不同纬度烟区的生态适应性[J]. 中国烟草科学, 2014, 35(4): 34-40.
- [16] 李文卿,陈顺辉,柯玉琴,等. 不同移栽期对烤烟生长发育及质量风格的影响[J]. 中国烟草学报, 2013, 19(4): 48-54.
- [17] 樊芬,刘泓翔,王建波,等. 适期早栽和追肥前移对烤烟产质量的影响[J]. 湖南农业科学, 2016(10): 32-36, 40.
- [18] 王红梅. 不同移栽期对澜沧县烤烟产量和品质的影响[J]. 安徽农业科学, 2014, 42(31): 10894-10895.

(上接第 21 页)

麦育种的一个重要指标。

光合作用是一系列复杂代谢反应过程的总和^[20],不仅涉及 PS II 的电子传递过程,光合气体交换参数、光合作用中关键酶以及基因对光合作用的影响也至关重要。该研究仅对光合作用中的叶绿素荧光参数的表现进行了探讨,缺乏光合作用过程中其他代谢过程的指标分析与验证,因此有待对该研究结果进行进一步的研究,以期能筛选出具有高光效特性的小麦种质用于高光效育种工作,发挥出高光效育种的巨大潜力。

参考文献

- [1] YOSHIDA S. Physiological aspects of grain yield[J]. Annual review of plant physiology, 1972, 23: 437-464.
- [2] ZELITCH I. The close relationship between net photosynthesis and crop yield[J]. BioScience, 1982, 32(10): 796-802.
- [3] 丁位华,冯素伟,姜小琴,等. 黄淮海区不同小麦品种生育前期光合生理特性及物质积累变化研究[J]. 华北农学报, 2016, 31(2): 120-124.
- [4] 衡亚蓉,李晓,贺利,等. 基于上部叶片叶绿素荧光参数的小麦产量预测与评价[J]. 麦类作物学报, 2018, 38(6): 701-709.
- [5] 张守仁. 叶绿素荧光动力学参数的意义及讨论[J]. 植物学通报, 1999, 34(4): 444-448.
- [6] ZHENG H F, XIN L F, GUO J M, et al. Adaptation of photosynthesis to water deficit in the reproductive phase of a maize (*Zea mays* L.) inbred line[J]. Photosynthetica, 2019, 57(2): 399-408.
- [7] 吴姗姗,徐学欣,张霞,等. 不同品种冬小麦苗期叶绿素荧光参数与抗旱性关系研究[J]. 华北农学报, 2020, 35(6): 90-99.

- [8] 牛宁,李振侠,金素娟,等. 黄淮海地区大豆光合特性及高光效种质筛选[J]. 中国油料作物学报, 2018, 40(4): 524-532.
- [9] 张耀文,赵小光,关周博,等. 作物高光效种质筛选的研究进展[J]. 中国农学通报, 2019, 35(18): 1-11.
- [10] SHLENS J. A tutorial on principal component analysis[J]. International journal of remote sensing, 2014, 51(2): 1-13.
- [11] 朱晓,张珂珂,黄晨晨,等. 基于主成分分析的氮高效小麦品种的筛选[J]. 河南农业科学, 2020, 49(12): 10-16.
- [12] 胡延吉,赵檀方. 小麦光合作用的遗传和改良潜力的初步研究[J]. 中国农业科学, 1995, 28(S1): 14-21.
- [13] 王正航,武仙山,吕小平,等. 小麦旗叶叶绿素含量及荧光动力学参数与产量的灰色关联度分析[J]. 作物学报, 2010, 36(2): 217-227.
- [14] 赵薇,李贞,王谦,等. 冬小麦灌浆期旗叶光曲线及叶绿素荧光参数研究[J]. 气象与环境科学, 2017, 40(1): 64-72.
- [15] RINGNÉR M. What is principal component analysis? [J]. Nature biotechnology, 2008, 26(3): 303-304.
- [16] 丁璐,刘海学,王聿双,等. 26 个玉米杂交组合农艺性状的相关性与主成分分析[J]. 分子植物育种, 2020, 18(3): 995-1002.
- [17] COSTA C, DWYER L M, UTILLEUL P D, et al. Inter-relationships of applied nitrogen, SPAD, and yield of leafy and non-leafy maize genotypes[J]. Journal of plant nutrition, 2001, 24(8): 1173-1194.
- [18] LINDSEY A J, STEINKE K, RUTAN J, et al. Relationship of DGCI and SPAD values to corn grain yield in the eastern corn belt[J]. Crop, forage & turfgrass management, 2016, 2(1): 1-9.
- [19] WANG Y, AN Z C, LI R K, et al. The nutritional status and fluorescence characteristics of maize cultivars with different chlorophyll content and yields[J]. Photosynthetica, 2019, 57(1): 295-302.
- [20] LIU M, TONG H W, LIU Y B, et al. Genetic progress in grain yield and the associated physiological traits of popular wheat in southwestern China from 1969 to 2012[J]. Crop science, 2021, 61(3): 1971-1986.