

不同基因型小麦 NDVI 值与产量的关系

李升东, 王法宏*, 司纪升, 孔令安, 冯波, 张宾

(山东省农业科学院作物研究所, 山东 济南 250100)

摘要: 在旱地保护性耕作条件下, 以 11 个不同基因型小麦 (*Triticum aestivum* L.) 品种为材料, 研究了植被归一化指数 (NDVI, Normalized difference vegetation index) 与产量构成和抗旱性的关系。结果表明, 不同基因型小麦各生育期的归一化植被指数 (NDVI) 存在显著性差异; 小麦抽穗期 NDVI 值与其干旱产量指数呈正相关, 抽穗期 NDVI 值较高的小麦品种其干旱产量指数也较高; 本试验条件下, 石麦 15、石家庄 8 号和烟 Blu6439 三个小麦品种的干旱产量指数较高。

关键词: 小麦; 保护性耕作; 归一化植被指数; 抗旱性

中图分类号: S512.102 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2008)06-0047-04

绿色植物反射光谱的突出特点是对红光 (R) 的高吸收率和对近红外光 (NIR) 的高反射率, 植被归一化指数 (NDVI) 的大小能很好地反映绿色植物的生长状况^[1]。并且 NDVI 与植被覆盖程度、植被生产力等性状也具有很好的线性关系, 是反映植被辐射吸收特征、气候胁迫作用等的重要指标^[2]。当作物遭受水分胁迫时, 作物的生长受到影响, 将引起叶面积指数、生物量、盖度、叶绿素含量、蛋白质含量等形态生理指标的变化, 从而影响作物群体的 NDVI 值^[3]。

植被归一化指数 (NDVI) 大多用于分析作物的氮肥需求状况^[2~5], 但是在旱地保护性耕作条件下土壤氮素不是限制因素^[6], 水分亏缺是限制作物健壮生长的主要因素^[7,8]。因此, 在旱地保护性耕作条件下, 选用不同基因型小麦分析 NDVI 值对产量构成和抗旱性的影响, 有助于阐明小麦抗旱节水和选育高产品种的植被生长基础。本文利用 NDVI 值作为描述不同基因型小麦品种在旱地保护性耕作条件下的植被生长状况, 结合小麦产量构成和干旱产量指数, 探索提高旱地小麦水分利用效率, 培育健壮群体 (高产低耗) 的途径。

1 材料与试验方法

1.1 试验地点和材料

试验于 2006~2007 年在山东省农业科学院试验田 (纬度 36°42', 经度 117°04') 进行, 该地块从 2003 年起实行全免耕保护性耕作, 秸秆全部还田,

土壤质地为轻壤土。全生育期无灌溉, 济南市 2006 年 7 月到 2007 年 7 月降水量为 785.7mm, 每月降水量见图 1。试验田土壤肥力、理化性状见表 1。

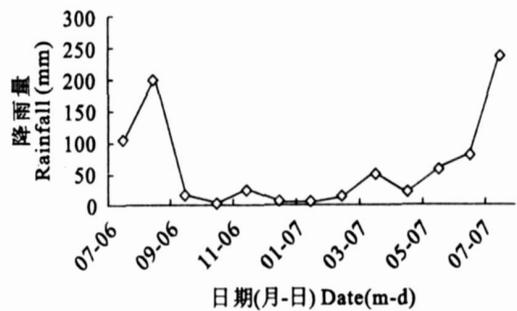


图 1 济南市 2006 年 7 月~2007 年 7 月降雨量

Fig. 1 Rainfall of Ji'nan city from 2006-07 to 2007-07

选用抗旱性较强的小麦品种烟 Blu6439、洛早 6 号、矮抗 58、石麦 12、石家庄 8 号、石麦 15、临丰 3 号、临早 51329、烟农 21、莱农 L155 和莱农 0301 为试验材料。其中烟 Blu6439 和烟农 21 是烟台市农科院小麦所选育, 洛早 6 号为洛阳市农科院选育, 矮抗 58 为河南科技学院选育, 石麦 12、石麦 15 和石家庄 8 号石家庄市农科院选育, 临丰 3 号和临早 51329 为山西省农科院小麦研究所选育, 莱农 L155 和莱农 0301 是莱阳农学院选育。种植小区 2×8=16 m², 3 次重复, 随机区组排列, 预期试验田基本苗为 180 万/hm², 由各品种种子千粒重和发芽率确定其播种量。

收稿日期: 2008-05-08

基金项目: 国际合作挑战计划项目 (CPWFYRB200501); 国家科技支撑计划项目 (2006BAD02A09-JS01、2006BAD21B04-5、2006BAD01A02); 国家高技术研究发展计划重点项目 (2006AA100102); 公益性行业 (农业) 科研专项经费项目 (NYHYZX07-002); 农业科技成果转化资金项目 (05EFN213700156)

作者简介: 李升东 (1978-), 男, 山东昌邑人, 助理研究员, 主要从事于小麦高产生理研究。

* 通讯作者: 王法宏, 博士, 研究员, 主要从事于资源节约型栽培技术研究。E-mail: wheat-cul@163.com。

表 1 试验田土壤主要理化形状

Table 1 Basic soil chemical and physical properties

土壤层次 Soil depth (cm)	容重 Bulk density (g/cm ³)	土壤含水量 Soil moisture (%)		有机质 Organic matter (g/kg)	速效氮 Available N (mg/kg)	速效磷 Available P (mg/kg)	速效钾 Available K (mg/kg)
		播种期 Sowing	收获期 Harvesting stage				
0~20	1.46	12.41	10.52	23.37	76.51	12.61	117.4
20~40	1.58	14.17	12.84	14.41	58.17	13.29	124.3
40~60	1.67	15.48	15.27	10.16	43.84	12.37	116.7

1.2 测定项目及方法

1.2.1 植被归一化指数的测定 由国际玉米小麦改良中心(CIMMYT)提供的 GreenSeeker 505 测定,该仪器有内置光源,可发射和接受波长为 670 nm 的红光和波长为 780 nm 的近红外光。因此,测量结果不受光环境影响,测定时仪器探头平行于地面,距小麦冠层 40 cm,测定者在田间行走的同时仪器采集并储存数据。

1.2.2 干旱产量指数 品种干旱处理产量与全部参试品种干旱处理的平均产量的比值,干旱产量指数最高的品种就是该试验条件下抗旱性最强的品种^[9]。

1.2.3 亩穗数、穗粒数和千粒重 收获前每个处理选取三点(面积 150×100 cm²),调查亩穗数、穗粒数、千粒重、生物产量和理论产量。

2 结果与分析

2.1 不同基因型小麦在保护性耕作条件下归一化植被指数的差异

测定不同时期各基因型小麦 NDVI(表 2)发现,

小麦的 NDVI 值在抽穗期取得最大值,然后逐步下降,直至收获期最低。但不同基因型小麦在各生育时期的 NDVI 存在明显差异,其中石家庄 8 号、石麦 15 和洛早 6 号在全生育期 NDVI 值均维持在较高水平。烟 Blu6439、临丰 3 号、石麦 12 和烟农 21 从抽穗期到灌浆前期获得了较高的 NDVI 值,而后降低。矮抗 58、临早 51329、莱农 L155 和莱农 0301 等 4 个小麦品种的 NDVI 值较低,特别是在取得最高 NDVI 值的抽穗期,要显著低于石家庄 8 号、石麦 15 和洛早 6 号。烟 Blu6439 花期 NDVI 值较高,但是到了收获期其 NDVI 值要显著低于花期 NDVI 值较高的洛早 6 号、石家庄 8 号、石麦 15、临丰 3 号和烟农 21 等品种,这可能与其生育末期的衰老有关。

2.2 不同基因型小麦在保护性耕作条件下产量构成和产量的表现

不同基因型小麦的产量、产量构成和干旱产量指数见表 3。其中石麦 15 的生物产量、经济产量和经济系数均显著高于其他品种,其后依次是石家庄 8 号、烟 Blu6439、烟农 21、石麦 12、莱农 0301、临早 51329、洛早 6 号、临丰 3 号、莱农 L155 和矮抗 58。

表 2 不同基因型小麦从抽穗期到成熟 NDVI 值比较

Table 2 Comparison of NDVI from heading to mature with different genotype wheat varieties

品种 Variety	抽穗期 Heading	花期 Flowering stage	灌浆前期 Early filling stage	灌浆中期 Medium term of filling	收获期 Harvesting stage
烟 Blu6439 Yan Blu6439	0.7248±0.0188 ^{abc} *	0.6111±0.0070 ^{ab}	0.5282±0.0162 ^{cd}	0.4220±0.0178 ^{gh}	0.2863±0.0186 ^{ef}
洛早 6 号 Luohan 6	0.7401±0.0166 ^{ab}	0.5872±0.0769 ^{9ab}	0.5872±0.0357 ^{abc}	0.4852±0.0284 ^{abc}	0.3568±0.0221 ^{ab}
矮抗 58 Aikang 58	0.6902±0.0109 ^{bcd}	0.5816±0.0075 ^{abc}	0.5959±0.0245 ^{bc}	0.4463±0.0220 ^{defg}	0.3106±0.0143 ^{cd}
石麦 12 Shimai 12	0.6921±0.0107 ^{cd}	0.5845±0.0100 ^{abc}	0.6075±0.0350 ^{ab}	0.4487±0.0231 ^{defg}	0.3188±0.0151 ^{cd}
石家庄 8 号 Shijiazhuang 8	0.7561±0.0372 ^a	0.6290±0.0157 ^{8a}	0.6290±0.0102 ^{ab}	0.51187±0.0111 ^a	0.3760±0.0072 ^a
石麦 15 Shimai 15	0.7462±0.0412 ^{ab}	0.6342±0.0363 ^{2a}	0.6342±0.0157 ^a	0.5026±0.0141 ^{ab}	0.3711±0.0026 ^{ab}
临丰 3 号 Linfeng 3	0.7204±0.0217 ^{abcd}	0.5887±0.0456 ^{5ab}	0.5887±0.0129 ^{abc}	0.4662±0.0192 ^{cde}	0.3541±0.0095 ^b
临早 51329 Linhan 51329	0.7095±0.0218 ^{bcd}	0.5785±0.0355 ^{70abc}	0.5785±0.0248 ^{abc}	0.4542±0.0114 ^{def}	0.3210±0.0054 ^c
烟农 21 Yannong 21	0.7299±0.0172 ^{abc}	0.6059±0.0134 ^{5ab}	0.5929±0.0262 ^{abc}	0.4734±0.0184 ^{bcd}	0.3543±0.0121 ^b
莱农 L155 Lainong L155	0.6952±0.0479 ^{cd}	0.5557±0.0630 ^{2bc}	0.5557±0.0161 ^{bcd}	0.4394±0.0137 ^{efg}	0.2995±0.0106 ^{de}
莱农 0301 Lainong 0301	0.6799±0.0131 ^d	0.5194±0.0294 ^{cd}	0.5194±0.0261 ^{cd}	0.4055±0.0083 ^h	0.2740±0.0114 ^f

注: * 均值±方差,每列数据后的不同字母表示差异达显著水平($P<0.05$)。

Note: * Mean ±SE(standard error), values followed by a different letter within a column are significantly different at 0.05 probability level.
(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

分析石麦 15 的产量构成发现,其亩穗数、千粒重均显著高于其他品种,穗粒数也较高,这是其获得较高干旱产量指数的关键原因。石家庄 8 号则取得了最高的穗粒数,千粒重仅低于石麦 15。烟 Blu6439 则依靠其较高的亩穗数,获得较高的干旱产量指数,虽然莱农 L155 的亩穗数较高,但是较低的穗粒数和千粒重影响了干旱产量指数的提高。

结合表 2 数据分析发现,全生育期 NDVI 值较高的石家庄 8 号、石麦 15、洛早 6 号和烟 Blu6439 除洛早 6 号外均获得了较高的干旱产量指数。洛早 6 号虽然全生育期的 NDVI 值较高,但是由于亩穗数、穗粒数、千粒重和生物产量均较低,影响了其干旱产量指数的提高,其较大的 NDVI 值可能与松散的株型结构有关。

表 3 不同基因型小麦在保护性耕作条件下产量及产量构成因素的比较

Table 3 Comparison of yield and yield composition with different genotype wheat varieties at conservation tillage condition

品种 Variety	平均穗数 Spike number (10 ⁴ /667 m ²)	穗粒数 Grain number	千粒重 1000 ^g grain weight (g)	生物产量 Biomass (kg/hm ²)	产量 Yield (kg/hm ²)	经济系数 Economic factors	干旱产量指数 Drought yield index
烟 Blu6439 Yan Blu6439	48.19±0.48a *	36.45±0.57d	37.67±0.32bc	12483±233bc	5486±112c	0.441±0.014bc	1.052±0.021c
洛早 6 号 Luohan 6	42.74 ±0.37d	36.39±0.72d	36.56±0.39d	11309±347d	4891±60fg	0.435±0.016bc	0.938±0.009fg
矮抗 58 Aikang 58	36.96±0.44g	41.34±0.65b	32.51±0.53g	8838±589f	4298±55h	0.496±0.032a	0.824±0.011h
石麦 12 Shimai 12	46.31±0.79b	38.90±0.43c	34.33±0.23f	11882±585cd	5299±47de	0.447±0.023bc	1.016±0.011d
石家庄 8 号 Shijiazhuang 8	40.05±0.45e	42.73±0.31a	38.23±0.30b	13216±479b	5902±114b	0.449±0.022bc	1.132±0.025b
石麦 15 Shimai 15	47.60±0.42a	38.98±0.24c	40.24±0.27a	14097±543a	6354±82a	0.453±0.023abc	1.218±0.012a
临丰 3 号 Linfeng 3	38.36±0.48f	39.26±0.53c	37.47±0.16c	11671±468cd	4859±52fg	0.419±0.016c	0.932±0.010fg
临早 51329 Linhan 51329	38.39±0.89f	36.04±0.12d	35.09±0.16e	10027±536e	4981±105f	0.481±0.052ab	0.955±0.018f
烟农 21 Yannong 21	46.38±0.71b	39.14±0.51c	33.80±0.33f	12212±489c	5308±101d	0.431±0.017c	1.018±0.016d
莱农 L155 Lainong L155	47.45±0.83a	34.59±0.37e	35.26±0.47e	11383±534d	4836±56g	0.427±0.023c	0.927±0.012g
莱农 0301 Lainong 0301	44.81±0.17c	36.03±0.44d	37.85±0.50bc	11721±476cd	5164±81e	0.465±0.042bc	0.990±0.016e

注: * 均值±方差,每列数据后的不同字母表示差异达显著水平(P<0.05)。

Note: * Mean ±SE(standard error), values followed by a different letter within a column are significantly different at 0.05 probability level.

2.3 不同基因型小麦抽穗期 NDVI 值与干旱产量指数的相关分析

表 4 不同基因型小麦抽穗期 NDVI 值与干旱产量指数的相关分析

Table 4 Correlation analysis of NDVI and drought yield index with different genotype wheat varieties at flowering stage

品种 Variety	关系式 Equation	R
烟 Blu6439 Yan Blu6439	$y = -0.423x + 1.1403$	$R = 0.8550^{**}$
洛早 6 号 Luohan 6	$y = 0.1152x + 0.6337$	$R = 0.1281$
矮抗 58 Aikang 58	$y = -0.5976x + 1.1993$	$R = 0.8273^{**}$
石麦 12 Shimai 15	$y = 0.1789x + 0.5426$	$R = 0.2590$
石家庄 8 号 Shijiazhuang 8	$y = 0.0912x + 0.6717$	$R = 0.4501$
石麦 15 Shimai 15	$y = -0.6296x + 1.5282$	$R = 0.8274^{**}$
临丰 3 号 Linfeng 3	$y = 0.748x + 0.0217$	$R = 0.4794$
临早 51329 Linhan 51329	$y = -0.3341x + 1.0246$	$R = 0.3499$
烟农 21 Yannong 21	$y = -0.3233x + 1.0575$	$R = 0.4199$
莱农 L155 Lainong L155	$y = -0.0849x + 0.7741$	$R = 0.0283$
莱农 0301 Lainong 0301	$y = -0.4371x + 1.1122$	$R = 0.7469^*$

注: *, ** 分别代表 5% 和 1% 的差异水平。

Note: * and ** represent the 5% and 1% significant levels, respectively.

表 4 列出不同基因型小麦抽穗期 NDVI 值与其干旱产量指数的相关关系。干旱产量指数因小麦基

因型的不同表现出与植被归一化指数的相关程度不同。从所有相关分析的 R 值看,小麦抽穗期 NDVI 值与干旱产量指数存在正相关,并且石麦 15、烟 Blu6439、矮抗 58 和莱农 0301 的相关性都达显著水平。

3 讨论

研究发现,旱地保护性耕作秸秆覆盖能够减少土壤蒸发,增加 0~50 cm 土层内的蓄水量,并且能够调控土壤供水,使作物苗期耗水量减少,增加需水关键期的供水量^[10],由此实现作物增产^[11],但是不同小麦品种的增产幅度具有明显的基因型差异^[12]。Hsiao T C 研究发现,水分亏缺对小麦光合产物积累和分配过程的影响是鉴定和改良其抗旱节水性的关键^[13]。

因此,目前旱地保护性耕作小麦生产迫切需要既能保证干物质积累速率,又具有广适性的抗旱性品种^[14]。本研究发现,石麦 15、石家庄 8 号和烟 Blu6439 三个小麦品种能够充分利用土壤的有限水资源,获得较高的生物产量和干旱产量指数,可以作为旱地保护性耕作条件下提高小麦水分利用效率,

培育健壮群体(高产低耗)的种质资源。

随着保护性耕作实行年限的增加,土壤生物和微生物数量显著增加,土壤肥力状况较传统翻耕显著改善^[5]。因此,旱地保护性耕作小麦产量的主要限制因素是土壤水分。有研究表明,作物的生理生化特征决定了其对光的吸收、透射和反射的变化,而作物的生理特征又相应反映了它的长势情况,因此,可以根据光谱的差异,监测作物的氮素状况,快速精确地获取作物生长状态以及环境胁迫的各种信息^[15]。影响植被光谱特征的因素主要包括色素成分、细胞结构及含水量等^[16,17]。本研究表明,在旱地保护性耕作条件下小麦抽穗期归一化植被指数与干旱产量指数呈正相关,能够充分利用播种到抽穗期有限土壤水分的小麦品种,就可能获得较高的干旱产量指数。因此,在实施免耕和作物残茬覆盖的高肥力地块,小麦从播种到抽穗期的土壤水分利用效率是其能否取得高产的重要影响因素。

基于不同基因型小麦各生育时期的冠层光谱与其干旱产量指数的相关分析,研究了植被归一化指数 NDVI 与旱地保护性耕作条件下小麦水分利用效率的关系,为小麦水分生理状况的无损监测和精确诊断奠定了基础,也是对已有小麦光谱监测理论和技术的深化与发展。在本研究结论基础上,利用光谱技术确定旱地保护性耕作条件下小麦水分生理状况,建立准确度更高的小麦水分生理监测是今后研究的重要内容。

参考文献:

- [1] 刘先华,陈佐忠,秋山侃,等.定居放牧方式下归一化植被指数(NDVI)的空间变化特征[J].植物生态学报,2000,24(6):662-666.
- [2] Babar M A, Reynolds M P, Van Ginkel M. Spectral reflectance

to estimate genetic variation for in-season biomass, leaf chlorophyll, and canopy temperature in wheat [J]. Crop Science, 2006, 46(5):1046-1058.

- [3] William R. Raun, John B. Solie, Gordon V. Johnson. In-season prediction of potential grain yield in winter wheat using canopy reflectance [J]. Agronomy Journal, 2001, 93(1):131-139.
- [4] SMIL V. Global population and nitrogen cycle [J]. Scientific American, 1997, 277:76-81.
- [5] 薛利红,罗卫红,曹卫星,等.作物水分和氮素光谱诊断研究进展[J].遥感学报,2003,7(1):73-80.
- [6] 颜丽,宋杨,贺靖,等.玉米秸秆还田时间和还田方式对土壤肥力和作物产量的影响[J].土壤通报,2004,35(2):143-149.
- [7] 顾颖,王会容,倪深海.中国农业干旱脆弱性分区研究[J].水科学进展,2005,16(5):705-710.
- [8] 胡梦芸,张正斌,徐萍,等.亏缺灌溉下小麦水分利用效率与光合产物积累运转的相关研究[J].作物学报,2007,33(11):1884-1891.
- [9] 吴振录,黄光宏,樊哲儒,等.小麦水分高效利用种质的筛选方法探讨[J].麦类作物学报,2005,25(5):143-146.
- [10] 赵聚宝,梅旭荣,薛红军,等.秸秆覆盖对旱地作物水分利用效率的影响[J].中国农业科学,1996,29(2):59-66.
- [11] 黄高宝,李玲玲,张仁陟.免耕秸秆覆盖对旱作麦田土壤温度的影响[J].干旱地区农业研究,2006,24(5):1-4,19.
- [12] 张正斌,徐萍,周晓果,等.作物水分利用效率的遗传改良研究进展[J].中国农业科学,2006,39(2):289-294.
- [13] Hsiao T C. Growth and productivity of crops in relation to water status [J]. Acta Hort, 1993, 335:137-148.
- [14] 贾秀领,蹇家利,马瑞昆,等.高产冬小麦水分利用效率及其组分特征分析[J].作物学报,1999,25(3):309-315.
- [15] 李映雪,朱艳,田永超,等.小麦叶片氮含量与冠层反射光谱指数的定量关系[J].作物学报,2006,32(3):358-362.
- [16] 卢艳丽,李少昆,王纪华,等.冬小麦不同株型品种光谱响应及株型识别方法研究[J].作物学报,2005,31(10):1333-1339.
- [17] 代辉,胡春胜,程一松,等.不同氮水平下冬小麦农学参数与光谱植被指数的相关性[J].干旱地区农业研究,2005,23(4):16-22.

The relationship between normalized difference vegetation index and yield of different genotype wheat varieties

LI Sheng-dong, WANG Fa-hong*, SI Ji-sheng, KONG Ling-an, FENG Bo, ZHANG Bin
(Crop Research Institute, Shandong Academy of Agricultural Sciences, Ji'nan, Shandong 250100, China)

Abstract: Eleven genotypes of wheat varieties were used to research the relation between normalized difference vegetation index (NDVI) and yield components and drought resistance under dryland conservation tillage condition. The results showed that NDVI values of different wheat genotypes differed significantly at different development stages. Value of wheat NDVI expressed a positive correlation with drought yield index at heading stage. Those who had higher NDVI value of heading had better drought yield index. Under the experimental conditions, Shimai 15, Shijiazhuang 8 and Yan Blu⁶⁴³⁹ have higher drought yield index than others.

Keywords: wheat; conservation tillage; normalized difference vegetation index; drought resistance