

DOI: 10.5846/stxb201206040809

王丽芳, 王德轩, 上官周平. 大穗型小麦叶片性状、养分含量及氮素分配特征. 生态学报 2013, 33(17): 5219–5227.

Wang L F, Wang D X, Shanguan Z P. Structural characters and nutrient contents of leaves as well as nitrogen distribution among different organs of big-headed wheat. Acta Ecologica Sinica 2013, 33(17): 5219–5227.

大穗型小麦叶片性状、养分含量及氮素分配特征

王丽芳, 王德轩, 上官周平*

(西北农林科技大学水土保持研究所黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 杨陵 712100)

摘要: 采用田间试验研究了 8 个大穗型小麦新品系和西农 979 不同生育期比叶面积 (SLA)、叶干物质含量 (LDMC) 与养分含量的差异性, 并对其不同器官氮素积累和分配情况进行了探讨。结果表明, 大穗型小麦的 SLA 和 LDMC 平均值小于西农 979; 小麦叶片养分含量由大到小依次为全氮 (N)、全钾 (K) 和全磷 (P); 成熟期大穗型小麦品系各器官平均氮素积累能力都高于对照, 氮素积累量及分配比例的大小顺序为籽粒 > 茎+鞘 > 穗草 (穗轴+颖壳) > 旗叶 > 倒二叶 > 余叶; 大穗型小麦平均转移率和贡献率较西农 979 低; 抽穗期旗叶 SLA 和 LDMC 呈负相关关系, SLA 和 N 含量呈不显著的正相关, 和 P、K 呈极显著的负相关。小麦叶片结构性状与养分含量影响体内有机物质的积累与转运, 通过水肥调控措施来提高大穗型小麦养分利用效率的研究需进一步加强。

关键词: 大穗型小麦; 叶片性状; 养分含量; N 分配

Structural characters and nutrient contents of leaves as well as nitrogen distribution among different organs of big-headed wheat

WANG Lifang, WANG Dexuan, SHANGGUAN Zhouping*

State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on the Loess Plateau, Institute of Soil and Water Conservation, Northwest Agriculture and Forestry University, Yangling, Shaanxi 712100, China

Abstract: A field experiment is conducted to study differences between eight new big headed wheat lines and Xinong 979 at different growth stages in specific leaf areas (SLA), leaf dry matter contents (LDMC) and leaf nutrient contents as well as nitrogen accumulations in and distributions among different organs of the lines and variety. The big-headed wheat lines had lower average SLA and LDMC than Xinong 979 and the line 2040 had lower average SLA and higher average LDMC than the latter. The leaf nutrient contents of the big headed lines were ranked in the order of N total > K total > P total and the N content and N / K of the lines first increased and then decreased during the growing period, but the P contents of the lines declined gradually. The big-headed lines had higher average nitrogen accumulation capacities than the control variety at the ripening stage. The nitrogen accumulations in and distributions among the kernels, stem and leaf sheathes, spike stalk and shell, flag leaves and penultimate leaves were ranked in the order of the kernels > the stems and leaf sheathes > the spike stalks and shells > the flag leaves > the penultimate leaves > the other leaves. At the heading stage, the SLA and LDMC of the flag leaves were negatively correlated, the SLA of the flag leaves were insignificantly positively correlated with their N contents but extremely significantly negatively correlated with their P and K contents, which were not significantly positively correlated. In conclusion, leaf structural characters and nutrient contents of wheat influenced organic matter accumulation and transports in its body, and it was imperative to enhance researching on how to improve nutrient use efficiencies of big-headed wheat.

基金项目: 中国科学院知识创新重要方向项目 (KZCX2\YW\JC408)

收稿日期: 2012-06-04; 修订日期: 2012-10-26

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: shanguan@ms.iswc.ac.cn

<http://www.ecologica.cn>

headed wheat by reasonably regulating its water and fertilizer conditions.

Key Words: big-head wheat; leaf character; nutrient content; N distribution

随着我国小麦需求量的持续增长和耕地面积的不断减少,大穗型小麦品种在农田作物栽培与育种实践中日益受到重视^[1]。众多植物表现性状中,叶片性状特征直接影响到植物的生长发育状况,且小麦叶片是与环境接触面积较大的器官,又是籽粒碳水化合物的主要来源,不同的叶片结构性状对产量的影响不一,作为形状和生理特征占优势的大穗型小麦综合有机体,揭示大穗小麦对营养元素资源的利用和对环境的适应策略,探讨大穗小麦叶片结构性状、养分含量与各器官氮素的吸收和累积及其向籽粒的运输特性,对提高大穗小麦产量、改善小麦品质和提高氮素利用效率具有积极意义。

作物比叶面积(SLA)是评价生长发育与高产育种的重要指标^[2],能反映植物对碳获取与利用的平衡关系,低的SLA植物具有较好的资源保留能力、适应于资源匮乏的生境条件^[3],叶干物质含量(LDMC)主要反映植物养分元素保有能力的植物,植物的SLA和LDMC等性状具体表现为植物的水分利用效率和氮利用效率之间的权衡^[4]。在小麦叶片结构性状研究中,Watson^[5]指出叶片大小是导致产量差异的一个重要因素,旗叶面积应作为育种的主要目标之一。傅兆麟等^[6]研究表明,旗叶面积与穗粒重具有极显著正相关关系,且开花后绿叶面积的大小影响籽粒的灌浆速率^[7]。小麦开花前营养体的氮养分调运是籽粒氮的主要来源^[8],叶片的结构性状和养分组成可以反映植物对环境条件的适应性,并随土壤和气候条件而变化^[9],叶片较大的SLA可能暗示植物具有较高的N、P、K含量^[10]。遗传特性和栽培条件尤其是施用氮肥是影响小麦对氮素吸收、累积及转运的关键因素^[11-12]。目前针对大穗型小麦叶片研究单集中在叶片面积大小和产量性状方面较多,然而关于大穗型小麦叶片性状与养分含量和氮素转运的研究亟待加强。

本试验选用具有较大产量潜力的8个大穗型小麦新品系和多穗型对照品种——西农979,研究大穗型小麦新品系和多穗型品种的叶性状与养分含量及氮素转运的差异性,为大穗型小麦种群体的合理构建和养分利用的优化调控提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验于2010—2011年在陕西省武功县苏坊镇苏东村进行,该试验区属暖温带半湿润季风气候区。北纬34°17′,经度108°04′,海拔577 m,年日照1887.8 h,年平均气温13.2℃,年蒸发量1302.5 mm,降水量630 mm,主要集中在7—9月份。土壤为红油土,土层深厚,地势平坦,地力水平较高,保水保肥性好。

试验于2010年10月7—10日播种,播种量为187.5 kg/hm²,平均行距20 cm。试验设置9个处理,小区面积为20 m²,重复3次,2011年6月15日收获。小麦播种时,基肥施尿素375 kg/hm²、磷酸二铵525 kg/hm²、硫酸钾112.5 kg/hm²,冬灌施尿素112.5 kg/hm²,其他栽培管理措施同当地大田,无追肥。

1.2 试验材料

大田试验选用参加2009年陕西省小麦品种预备试验、2010年小麦区域试验和其他性状表现良好的8个具有高产潜力的新品系,是从多种类型中经多年多代筛选的、有望在优质高产上有所突破的一批大穗型小麦新品系(表1)。以黄淮冬麦区大面积推广种植的西农979作为对照品种。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 比叶面积与干物质含量测定

小麦抽穗期、灌浆前期和灌浆中期选取生长良好、无病虫害且完整的旗叶,每小区选9个叶片,叶片装入自封袋后立即带回实验室,用BenQ Scabber5560 series #4扫描仪扫描,利用图像分析软件(Motic images advanced 3.0)测定其叶面积,然后将叶片挂好标签后完全置于装水的大培养皿中,在暗光下浸泡24h进行复水,至饱和恒重,将饱和的叶片用纸擦至叶表面无多余水分滴落后称重;最后将饱和后的叶片装入信封并在

70℃下烘干至恒重(干重, mg)。计算比叶面积(SLA, m²/kg) = 叶片面积/叶片干重, 叶干物质含量(LDMC, mg/g) = 叶片干重/叶片饱和鲜重^[13]。

表1 供试小麦品系的主要性状特征

Table 1 Main characteristics of wheat lines used in present study

品系代码 Strains code	穗数/(10 ⁴ /hm ²) Number of spike	穗粒数 Number of grains per spike	穗粒重/g Kernel weight per spike	产量/(kg/hm ²) Yield	其他性状 Other characters
西农 979	654—763	30—51	1.1—2.3	8659.3—10598.9	株型紧凑 Compact plant type
2005	371—428	45—83	1.5—4.2	7530.4—9118.2	—
2013	339—406	39—93	1.3—5.1	6272.6—10434.2	稳定类型的穗行圃 Stable types of head progeny row nursery
2026	404—493	31—70	1.5—3.5	7795.6—9870.1	—
2036	376—484	30—58	1.6—3.0	9238.1—10918.1	抗倒伏, 芒较短 Lodging-resistance, shorter awn
2037	455—511	38—68	1.3—3.6	10830.8—12714.4	抗病性好 Good disease-resistance
2038	331—642	45—74	1.7—3.5	7700.6—14778.2	透光性能好, 芒较短 Good light transmittance, shorter awn
2039	412—541	45—82	1.9—4.0	9093.4—11677.8	—
2040	446—629	30—62	1.5—3.4	8960.4—12954.7	籽粒成熟时叶秆皆绿 Leaves and stems are green when the grain is mature

1.3.2 叶片养分含量测定

将小麦拔节期、抽穗期和灌浆期采集的叶片样品于 105℃下杀青 10min, 70℃下烘干至恒重, 叶片粉碎后过 100 目筛制成供试样品。植物样品经浓硫酸-过氧化氢溶液消煮后的消煮液, 用于植物全氮(N)、全磷(P)、全钾(K)的测定^[14]。全氮(N)用 Kjeldahl 定氮法(2300 全自动定氮仪, Sweden)测定; 全磷(P)用钼锑钒比色法(6505 紫外分光光度计, UK)测定; 全钾(K)用火焰光度法(ZL-5100 原子吸收分光光度计, USA)测定。叶片养分含量单位为质量百分含量, 每一样品养分指标的测定重复 3 次。

1.3.3 氮素分配及转运的采样与测定

于小麦开花期按旗叶、倒二叶、余叶、茎+叶鞘和穗分解, 成熟期按旗叶、倒二叶、余叶、茎+叶鞘、穗草(穗轴+颖壳)和籽粒分解, 在 105℃下杀青 10min, 在 70℃烘至恒重并称重。植物样品粉碎过 100 目筛制成供试样品, 采用 H₂SO₄-H₂O₂ 消煮, 用 Kjeldahl 定氮法(2300 全自动定氮仪, Sweden)测定氮素含量。参考赵满兴等^[15]公式计算小麦氮素累积和转移等指标:

各器官的氮素分配比例(%) = 各器官的氮素积累量/单茎氮素含量×100

营养器官氮素转移量 = 开花期营养器官氮素积累量 - 成熟期营养器官氮素积累量

营养器官氮素转移率(%) = 营养器官氮素转移量/开花期营养器官氮素积累量×100

营养器官转移氮素对籽粒氮素的贡献率(%) = 营养器官氮素转移量/成熟期籽粒氮素积累量×100

1.3.3 数据分析

采用 Excel 2003 进行数据处理, DPS7.05 进行统计分析, Duncan's 新复极差法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 小麦不同生育期旗叶比叶面积(SLA)的变化

小麦不同生育期、不同品系的 SLA 不同, 同一品种 SLA 在不同生育期的变化范围也各不相同(表 2) 8 个品系和对照品种的 SLA 变化幅度从大到小依次为 2005、2039、2037、2040、2026、CK、2036、2013、2038。对于不同小麦品种同一生育期比较得知, 抽穗期叶片 SLA 以 2013 品系最大, 灌浆期前期以 2005 品系最大, 而灌浆中期以 CK 品种最大。各生育期大穗型小麦品系平均值均小于西农 979, 2040 品系平均较小的 SLA 具有较好的

资源保留能力 2013 品系平均较大的 SLA 表明其具有较高的资源获取能力。总之,在相同管理条件下,不同小麦品种在同一生育期内 SLA 均存在明显差异,其叶片性状特征反映了小麦不同品种对生境异质性具有不同的适应对策,大穗型小麦品系小的 SLA 值表明其可能会更好的适应资源贫瘠和干旱的生境条件。

表 2 小麦不同生育期旗叶 SLA 比较/(m²/kg)

Table 2 Comparison of wheat flag leaf SLA during different growth and developing stages

材料 Material	抽穗期 Heading	灌浆前期 Pre-filling	灌浆中期 Mid-filling	平均值 Means	变异系数 Covariation
西农 979	19.68±0.60ABb	18.89±0.31ABabc	21.32±0.69Aa	19.96	0.062
2005	18.83±0.35BCbc	21.87±3.53Aa	17.09±0.51CDed	19.26	0.126
2013	21.47±1.07Aa	20.27±0.39ABab	19.59±0.42ABb	20.44	0.046
2026	19.48±0.45ABCb	18.32±0.42ABabc	16.89±0.48CDed	18.23	0.071
2036	20.65±0.67ABab	18.59±0.45ABabc	18.70±0.34BCb	19.31	0.060
2037	19.80±0.70ABab	17.68±0.40ABbc	16.73±0.39CDd	18.07	0.087
2038	19.28±0.52ABCb	18.19±0.62ABabc	18.64±0.48BCb	18.70	0.029
2039	19.50±0.41ABCb	16.88±0.4479ABbc	16.46±0.33Dd	17.61	0.093
2040	17.22±0.30Cc	15.88±0.29Bc	18.38±0.81BCDbc	17.16	0.072

数值后的不同大写字母表示在 1% 水平差异极显著;不同小写字母表示在 5% 水平下差异显著

2.2 小麦不同生育期旗叶干物质含量(LDMC)的变化

各小麦品系(种) LDMC 在生育期内存在差异, LDMC 和 SLA 变化趋势基本一致, LDMC 在小麦抽穗期后增大(表 3)。2040 品系平均 LDMC 较大, 2013 品系的 LDMC 较小, 而 2040 品系平均 SLA 较小, 2013 品系的 SLA 较大。LDMC 的变化幅度从大到小依次为 2039、2036、2037、2038、2013、CK、2040、2026、2005。小麦不同品系 LDMC 在不同的生育时期变化有所不同, LDMC 随 SLA 减小而变大, 表明小麦不同生长发育阶段, 各品系对生境条件具有一定的适应性。

表 3 小麦不同生育期旗叶 LDMC 比较/(mg/g)

Table 3 Comparison of wheat flag leaf LDMC during different growth and development stages

材料 Material	抽穗期 Heading	灌浆前期 Pre-filling	平均值 Means	变异系数 Covariation
西农 979 Xinong 979	213.64±4.82ABabc	236.67±3.02ABabc	225.16	0.072
2005	218.88±6.57ABab	224.74±4.03BCed	221.81	0.019
2013	188.80±7.23Cd	214.69±4.15Cd	201.74	0.091
2026	207.57±6.65ABCbc	227.69±3.80BCc	217.63	0.065
2036	197.79±4.07BCed	235.89±4.82ABbc	216.84	0.124
2037	202.24±5.72BCed	232.78±2.96ABc	217.51	0.099
2038	200.03±5.24BCed	228.07±7.25BCc	214.05	0.093
2039	204.39±5.58BCbed	247.96±3.89Aab	226.18	0.136
2040	225.15±4.43Aa	248.93±3.59Aa	237.04	0.071

数值后的不同大写字母表示在 1% 水平差异极显著;不同小写字母表示在 5% 水平下差异显著

2.3 小麦不同生育期叶片营养元素平均含量的变化

供试 8 个小麦新品系和对照品种叶片营养元素含量在拔节期表现差异显著性不同, 2013、2037、2040 品系的叶片 N 含量与对照相比差异显著, 2005、2013 和 2036 品系 P 含量高于对照, 新品系 K 含量都高于对照, 2037 品系与对照 N/K 差异达极显著水平(表 4)。大穗型小麦叶片养分含量表现为 N > 4.05%、P > 0.14%、K > 2.25%、N/P > 17.61、N/K > 1.03, 拔节期 2013 品系的 N、P 含量分别高于对照 13.7%、30%, 2037 的 K 含量高于对照达 95%, 2040 N/P 高于对照 26.9%。叶片养分含量大小比较为 N > K > P, 在小麦拔节期各个新品系表现出了异于对照品种的养分含量。

表 4 小麦不同生育期叶片营养元素含量变化

Table 4 The changes of wheat leaf nutrition element contents during different growth and development stages

生育期 Growth period	材料 Material	全 N/% Total nitrogen	全 P/% Total phosphorus	全 K/% Total potassium	N/P	N/K
拔节期 Jointing	西农 979	4.36±0.06Bb	0.20±0.00BCDb	2.08±0.47Bd	22.27±0.28ABCbc	2.42±0.73Aa
	2005	4.39±0.12Bb	0.25±0.01Aba	2.77±0.06ABbed	17.61±1.12Cc	1.59±0.06ABabc
	2013	4.96±0.04Aa	0.26±0.01Aa	2.71±0.32ABbed	19.07±1.11BCc	1.89±0.25ABabc
	2026	4.28±0.07BCb	0.20±0.01BCDb	2.45±0.15Bbed	21.74±1.75ABCbc	1.76±0.09ABabc
	2036	4.33±0.01Bb	0.21±0.00ABCb	2.90±0.05ABbed	20.83±0.17ABCbc	1.49±0.02ABbc
	2037	4.07±0.03Cc	0.19±0.01CDbc	4.05±0.49Aa	21.85±1.15ABCbc	1.03±0.11Bc
	2038	4.21±0.04BCbc	0.17±0.00CDbc	2.25±0.37Bed	24.52±0.53ABCab	1.98±0.34ABab
	2039	4.21±0.04BCbc	0.17±0.03CDbc	3.14±0.05ABabc	26.01±4.12Abab	1.34±0.01ABbc
	2040	4.05±0.01Cc	0.14±0.00Dc	3.36±0.49ABab	28.25±0.42Aa	1.25±0.17ABbc
	抽穗期 Heading	西农 979	4.61±0.02Bb	0.15±0.00Bb	1.24±0.12BCbc	29.82±0.16Bb
2005		4.42±0.02BCbed	0.14±0.00Bbc	1.28±0.00BCbc	31.42±1.06Bb	3.46±0.02Bb
2013		5.08±0.05Aa	0.13±0.00Bc	0.55±0.19Ef	39.27±0.50Aa	12.48±5.04Aa
2026		4.17±0.20Cd	0.14±0.00Bbc	1.08±0.04BCDbed	30.24±1.86Bb	3.88±0.30Bb
2036		4.29±0.86BCed	0.13±0.00Bc	0.73±0.09DEef	34.07±1.42ABb	6.02±0.64ABb
2037		4.54±0.08BCbc	0.14±0.02Bbc	0.83±0.05CDEdef	32.84±3.41Bb	5.50±0.41ABb
2038		4.58±0.03Bb	0.15±0.01Bb	0.95±0.01BCDEede	30.58±1.59Bb	4.80±0.04Bb
2039		4.61±0.12Bb	0.15±0.00Bbc	1.38±0.06Bb	31.38±0.22Bb	3.35±0.07Bb
2040		4.66±0.02Bb	0.22±0.00Aa	2.09±0.16Aa	20.99±0.08Cc	2.26±0.18Bb
灌浆期 Filling		西农 979	2.68±0.10BCDb	0.10±0.00ABab	0.85±0.09Ab	27.87±0.60DEef
	2005	2.61±0.01BCDbc	0.09±0.00Bb	1.26±0.08Aa	28.59±0.55CDEdef	2.09±0.13Aa
	2013	2.51±0.01CDe	0.07±0.00Ee	1.08±0.01ABab	38.35±0.44Aa	2.32±0.02Aa
	2026	2.50±0.07CDe	0.09±0.00BCb	1.27±0.03Aa	27.91±1.22DEef	1.97±0.02Aa
	2036	2.35±0.01Dd	0.07±0.00DEd	0.80±0.05Bb	31.75±0.28Bb	2.97±0.18Aa
	2037	2.52±0.01CDEc	0.08±0.00CDc	0.95±0.26ABab	31.08±0.26BCbc	3.35±1.26Aa
	2038	2.74±0.06Bb	0.10±0.00Aa	0.96±0.01ABab	27.01±0.41Ef	2.87±0.08Aa
	2039	2.99±0.03Aa	0.10±0.00ABa	0.95±0.06ABab	30.30±1.31BCDbed	3.16±0.23Aa
	2040	2.69±0.05BCb	0.09±0.00Bb	1.09±0.10ABab	29.47±0.31BCDEede	2.50±0.19Aa

数值后的不同大写字母表示在 1% 水平差异极显著; 不同小写字母表示在 5% 水平下差异显著

在小麦抽穗期叶片 N 含量高于拔节期, 除 2040 品系外其他品系(种) P、K 含量下降(表 4)。2013 品系的 N 含量、N/P、N/K 显著高于对照品种, 2040 品系的 P、K 含量显著高于对照品种, 其 P 含量由拔节期所有参试材料中的较小值变为较大值, 变化明显。

小麦灌浆期叶片营养元素 N、P 含量下降, K 含量变化范围较小(表 4)。2039 品系的 N 含量高于对照品种 11.57%, 2038 品系的 P 含量高于对照 6.35%, 2026 品系的 K 含量高于对照 49.5%, 大穗型小麦新品系和对照处理 N/K 差异均不显著, 灌浆期新品系的平均 K、N/P 都高于对照品种。总之, 大穗型小麦不同生育期叶片营养元素含量均变化明显, 不同小麦品系的变化程度也不尽相同。

2.4 小麦抽穗期叶片性状与营养元素的相关性

在小麦抽穗期 SLA 和 LDMC 呈极显著负相关关系, SLA 和 N 含量呈不明显的正相关, 和 P、K 呈极显著的负相关关系, N 与 P 表现出一定的不明显正相关(表 5), 小麦旗叶叶性状与养分含量之间表现出的相关性各不相同。

表5 小麦抽穗期叶片性状与营养元素之间的相关性分析

Table 5 Correlation of leaf traits and nutrient in heading stage

相关系数 Correlation coefficient	N	P	K	SLA	LDMC
N	1.000	0.16	-0.08	0.24	-0.30
P		1.000	0.89**	-0.85**	0.73*
K			1.000	-0.92**	0.89**
SLA				1.000	-0.9**

** 0.01 水平显著相关 Significantly correlate at $P < 0.01$; * 0.05 水平显著相关 Significantly correlate at $P < 0.05$; $n = 9$

2.5 小麦成熟期氮素在小麦不同器官的积累与分配

小麦成熟期不同品系(种)氮素含量和积累量存在差异,各器官氮素积累量及分配比例不同(表6),成熟期各器官氮素积累能力和分配比例大小顺序为籽粒>茎+鞘>穗草>旗叶>倒二叶>余叶,说明籽粒是活性最大的库,成熟期营养器官中的氮素转运至籽粒,籽粒中氮素积累量和分配比例较大。小麦新品系各器官氮素积累能力都高于对照品种,氮素积累量和分配比例均以籽粒最高,余叶最低。大穗型小麦新品系籽粒氮素的积累量可达 $300\text{kg} / \text{hm}^2$ 以上,2037 和 2038 品系旗叶与倒二叶氮素积累和分配比例较高,余叶器官以 2040 品系的积累和分配比例为高,说明生育后期 2040 品系余叶含有较高的氮含量。2013 品系的茎+鞘氮素积累和分配比例较高,穗草的氮素积累量和分配比例以 2026 品系为高,大穗型新品系器官氮素积累量和分配比例大多高于对照品种,不同大穗型品系之间积累量和分配比例亦不同,说明器官氮含量的高低取决于品系(种)本身的遗传特性,大穗小麦的氮素积累能力可能强于西农 979。

表6 小麦成熟期氮素在不同器官中的积累与分配

Table 6 The nitrogen accumulation and distribution in different organs at maturity

材料 Material	氮素积累量/(kg/hm^2) Nitrogen accumulation amount					
	旗叶 Flag leaf	倒二叶 Fall second leaf	余叶 Remain leaves	茎+鞘 Stem+ sheath	穗草(穗轴+颖壳) Spike grass	籽粒 Grain
西农 979	7.04±0.9b	5.69±0.8b	3.51±0.4b	28.41±2.0d	18.49±0.8b	266.29±21.0c
2005	8.66±0.2ab	7.34±0.6ab	7.64±0.6a	43.71±1.0bc	22.05±1.1ab	318.67±13.4ab
2013	8.68±0.8ab	6.87±0.7ab	6.03±1.6ab	54.88±1.9a	25.15±2.0ab	289.39±25.7abc
2026	10.63±1.0a	6.84±0.4ab	6.73±1.1a	46.62±2.9ab	30.61±6.5a	337.11±13.3a
2036	8.70±0.8ab	6.04±0.4b	5.70±0.2ab	37.66±1.1c	20.97±2.5b	305.25±7.3abc
2037	10.44±0.1a	8.45±1.0a	5.55±0.9ab	37.37±0.6c	23.23±1.3ab	283.19±18.2bc
2038	10.91±1.1a	8.12±0.6a	7.93±1.5a	44.40±4.2bc	18.39±1.0b	308.95±12.6abc
2039	10.87±0.2a	8.38±0.4a	5.02±0.3ab	46.93±3.6ab	24.60±0.8ab	339.23±7.6a
2040	8.42±1.0ab	5.66±0.2b	7.93±0.2a	42.01±2.8bc	20.63±2.2b	299.69±11.9abc

材料 Material	分配比例/% Distribution proportion					
	旗叶 Flag leaf	倒二叶 Fall second leaf	余叶 Remain leaves	茎+鞘 Stem+ sheath	穗草(穗轴+颖壳) Spike grass	籽粒 Grain
西农 979	2.14±0.2b	1.73±0.2bc	1.06±0.1b	8.63±0.1c	5.67±0.5ab	80.77±0.5a
2005	2.13±0.1b	1.80±0.2bc	1.87±0.1a	10.74±0.5bc	5.41±0.3ab	78.05±0.6ab
2013	2.24±0.3ab	1.75±0.1bc	1.50±0.3ab	14.20±1.3a	6.48±0.6ab	73.82±1.8c
2026	2.42±0.2ab	1.56±0.1bc	1.55±0.3ab	10.64±0.7bc	7.02±1.6a	76.81±1.4bc
2036	2.26±0.2ab	1.57±0.1bc	1.48±0.0ab	9.80±0.2bc	5.43±0.5ab	79.45±0.6ab
2037	2.85±0.2a	2.33±0.4a	1.50±0.2ab	10.20±0.6bc	6.36±0.6ab	76.76±1.7bc
2038	2.73±0.3ab	2.03±0.1ab	1.96±0.3a	11.11±0.7b	4.61±0.1b	77.55±1.1ab
2039	2.50±0.0ab	1.93±0.1abc	1.15±0.0b	10.78±0.8bc	5.65±0.1ab	77.99±0.9ab
2040	2.18±0.2b	1.47±0.1c	2.07±0.1a	10.91±0.2bc	5.35±0.4ab	78.01±0.6ab

数值后的不同字母表示在 5% 水平下差异显著

供试的 8 个大穗型小麦品系开花期平均营养器官氮素积累量、成熟期平均籽粒积累量分别高于对照品种 10.31%、16.48% (表 7) 2037 品系的贡献率高于对照品种的 11.5% 转移率除 2013、2039 品系外新品系和对照品种差异不显著, 开花后大穗品系向籽粒的平均转移量、转移率和贡献率低于西农 979, 表明大穗型小麦新品系开花前的高营养器官氮素积累量向籽粒供应氮素的能力有待提高。

表 7 小麦花后营养器官氮素向籽粒的转移情况

Table 7 Nitrogen translocation from vegetative organs to grain after anthesis

材料 Material	营养器官氮素积累量/(kg/hm ²) NAA of vegetative organs		成熟期籽粒积累量 NAA of grain of maturity /(kg/hm ²)	转移量 Nitrogen translocation amount /(kg/hm ²)	转移率 Translocation efficiency/%	贡献率 Contribution proportion/%
	开花期 Florescence	成熟期 Maturity				
	西农 979	236.68±17.2bcd	63.14±3.5d	266.29±21.0c	173.54±15.5abc	73.15±1.8a
2005	258.00±27.3abcd	89.40±1.2abc	318.67±13.4ab	168.59±28.4abc	64.38±4.6ab	53.82±10.9abc
2013	230.92±25.3cd	101.62±3.9a	289.39±25.7abc	129.30±21.9c	55.18±3.8b	45.92±10.5c
2026	279.05±33.4abcd	101.43±4.0a	337.11±13.3a	177.62±29.4abc	62.89±3.2ab	53.52±10.6abc
2036	228.40±24.1d	79.08±4.2c	305.25±7.3abc	149.32±24.8bc	64.58±4.4ab	49.25±8.9bc
2037	288.34±27.9ab	85.04±2.2bc	283.19±18.2bc	203.29±25.7ab	70.09±2.2a	73.56±14.2a
2038	295.63±38.9a	89.75±7.6abc	308.95±12.6abc	205.87±31.8a	69.14±2.1a	66.56±9.9abc
2039	248.92±50.5abcd	95.79±4.8ab	339.23±7.6a	153.13±55.2abc	56.47±12.5b	45.16±16.6c
2040	283.81±37.4abc	84.65±5.8bc	299.69±11.9abc	199.16±43.2ab	68.34±7.0a	67.74±16.7ab

数值后的不同字母表示在 5% 水平下差异显著; NAA: 氮素积累量

3 讨论

植物生长特性和形态特征的改变是适应各种环境的重要策略^[16], 尤其是植物叶片性状更能反映植物对环境的适应程度及环境变化对于植物的影响^[17]。本试验结果表明不同小麦品系 SLA 和 LDMC 在不同生育期具有不同的响应, 而且不同的小麦品系和品种在同一生育期的变化也不尽相同, 大穗型小麦品系平均 SLA 和 LDMC 均小于西农 979, 这可能与自身 N 可利用性、水分利用状况和一些遗传特征有关。植物 LDMC 增加, 相应 SLA 减小, 能降低植物体内的水分散失^[18], 并增强其抗非生物侵害的能力^[19]。本试验中所有参试小麦材料, 以 2040 品系的平均 SLA 较小, LDMC 含量较高, 使叶片内部水分向叶片表面扩散的距离或阻力扩大, 叶片相对更坚韧, 因此 2040 品系叶片较高的 LDMC 较能抵抗非生物胁迫且有较好的资源保有能力和水分利用效率。

本研究中大穗型小麦品系养分含量和叶片性状在不同的生育时期变化较为敏感, 各小麦品系(种)由于自身遗传特性的不同而表现出与环境协同变化的显著特征, 郑淑霞和上官周平^[20]对黄土高原 126 种植物叶片进行研究, 发现叶片 N、P、K 的变化范围分别为 0.82%—4.58%、0.06%—0.35% 和 0.24%—4.21%, 叶片 N/P 的变化范围为 7—29。本研究中小麦拔节期 2013 品系、抽穗期 CK、2013、2039 和 2040 品系的 N 含量略有超出, 而抽穗期和灌浆期 N/P 大部分超出此范围, 这表明不同研究区域、不同研究材料其变化范围有所不同。养分 N 和 P 是陆地植物主要限制元素, N/P 的比例是描述植结构、功能和养分限制的重要指标^[21], Koerselman 等^[22]认为当 N/P < 14 时, 植物生长主要受 N 限制; N/P > 16 时, 植物生长主要受 P 限制。在本试验中小麦叶片 N/P 的比例均大于 16, 并且生育期中有超过或接近 30 的比值, 说明该地区参试小麦品系或品种的生长主要受 P 限制, 这可能与该区域土壤 P 含量或小麦本身的生长发育特性有关。小麦叶片性状与养分含量的变化与环境条件关系密切, 本研究分析了其抽穗期叶片性状之间的相关性, SLA 和 LDMC 呈负相关关系, 这在有些试验中已得到证实^[2, 23]。郑淑霞和上官周平^[20]指出黄土高原 126 个植物样叶片 N、P 之间呈极显著的正相关关系, 本研究与邓蕾等^[10]研究表明的水蚀风蚀交错区锦鸡儿叶片 SLA 与 N、P、K 之间表现一定的不显著正相关研究结果不太一致, 这说明影响植物 SLA 的因素较为复杂, 除了本身的水分和养分外, 可能还存在一些植物群体之间的竞争关系等, 小麦不同发育阶段对营养元素的需求也不同。

小麦产量和品质与氮素的吸收、积累和转运密切相关,遗传特性和栽培措施等对其有重要影响。小麦开花后营养器官氮素的转运对籽粒氮素积累有较大贡献,籽粒中的氮素有相当一部分来自于营养器官氮素的花后再分配^[24]。本项试验表明,8个大穗型小麦品系成熟期各器官氮素积累能力,除2038品系的穗草和2040品系的倒二叶氮素积累量低于西农979外,都显著高于其对照品种;成熟期各器官氮素积累量及分配比例顺序为籽粒>茎+鞘>穗草(穗轴+颖壳)>旗叶>倒二叶>余叶。邵云等以西农979品种为试材,认为成熟期不同器官氮素积累量从大到小依次为籽粒>叶鞘>叶>茎>颖壳>穗轴,这主要因为小麦开花期和成熟期氮素转运受环境条件、施肥和品种的制约^[25-26]。所研究的器官和对象的不同,小麦不同器官氮素积累量与运转情况亦不同。Xu等^[27]研究表明,灌水量过高或过低时小麦氮素的转移量和转移率均降低,适当水分亏缺有利于提高营养器官贮存的氮素对籽粒氮的贡献率^[28],土壤干旱促进了氮素从叶片向籽粒的转移,提高了籽粒氮素水平^[29]。另有研究认为保持开花后适宜的土壤相对含水量可提高氮素转移量^[30],段文学等的测墒补灌法表明,补灌时期不同对品种开花后营养器官氮素转运的调节效应不同^[31],在本试验条件下大穗型小麦品系的转移率均低于西农979,2026、2037、2038和2040品系在单位面积内的氮素转移量高于对照,2037、2038和2040品系营养器官对籽粒的氮素贡献率较西农979为高,所以在实际生产中,充分利用残留在茎秆和其他营养器官中的氮素尤为重要,合理的水肥调控措施对提高氮素利用效率具有重要作用。

总之,提高小麦的氮素利用效率,一方面应重视小麦品种的营养高效性,从遗传改良来提高小麦氮素利用效率,另一方面可通过合理的水肥调控措施,以实现以肥调水、以水促肥的效果。另外,小麦叶片性状因品种和生境条件而异,由本试验结果可知相同的生长环境和农艺管理条件下,大穗型小麦新品系和对照品种对环境条件的响应策略有所不同。在植物叶片结构性状中,SLA还受叶厚的影响较大,两者呈负相关关系^[32-33],小麦SLA和LDMC与叶片厚度的关系还鲜有报道,由于产量形成是由很多性状决定的,为优化调控小麦叶片结构性状和养分利用,小麦叶片主要性状因子之间的综合作用及其管理措施的优化仍需做进一步研究。

References:

- [1] Zhao C J, Guo X W, Zhang Q D, Kang S J. Fluorescence induction transient and emission spectrum characteristics of winter wheat leaves of different spike type. *Scientia Agricultura Sinica*, 1999, 32(2): 43-46.
- [2] Vile D, Garnier E, Shipley B, Laurent G, Navas M L, Roumet C, Lavorel S, Díaz S, Hodgson J G, Lloret F, Midgley G F, Poorter H, Rutherford M C, Wilson P J, Wright I J. Specific leaf area and dry matter content estimate thickness in laminar leaves. *Annals of Botany*, 2005, 96(6): 1129-1136.
- [3] Pontes L D S, Soussana J F, Louault F, Andueza D, Carrère P. Leaf traits affect the above-ground productivity and quality of pasture grasses. *Functional Ecology*, 2007, 21(5): 844-853.
- [4] Li Y L, Cui J H, Su Y Z. Specific leaf area and leaf dry matter content of some plants in different dune habitats. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(2): 304-311.
- [5] Watson D J. The physiological basis of variation in yield. *Advances in Agronomy*, 1952, 4: 101-145.
- [6] Fu Z L, Ma B Z, Wang G J, Zhao Y H, Li G K. Relationship between the flag leaf and the grain weight per spike in wheat. *Journal of Triticeae Crops*, 2001, 21(1): 92-94.
- [7] Guo W S, Feng C N, Yan L L, Peng Y X, Zhu X K, Zong A G. Analysis on source-sink relationship after anthesis in wheat. *Acta Agronomica Sinica*, 1995, 21(3): 334-340.
- [8] Smith C J, Whitfield D M. Nitrogen accumulation and redistribution of late applications of ¹⁵N-labelled fertilizer by wheat. *Field Crop Research*, 1990, 24(3/4): 211-226.
- [9] Wright I J, Reich P B, Westoby M, Ackerly D D, Baruch Z, Bongers F, Cavender-Bares J, Chapin T, Cornelissen J H C, Diemer M, Flexas J, Garnier E, Groom P K, Gulias J, Hikosaka K, Lamont B B, Lee T, Lee W, Lusk C, Midgley J J, Navas M L, Niinemets Ü, Oleksyn J, Osada N, Poorter H, Poot P, Prior L, Pyankov V I, Roumet C, Thomas S C, Tjoelker M G, Veneklaas E J, Villar R. The worldwide leaf economics spectrum. *Nature*, 2004, 428(6985): 821-827.
- [10] Deng L, Wang H Z, Shanguan Z P, Liu G C. Variations of specific leaf area and nutrients of Chinese caragana in the Loess Plateau region suffering both wind and water erosions. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(18): 4889-4897.
- [11] Zhang Q J, Zhang L Y, Bi H W. The absorption, accumulation and translocation of nitrogen and their relationships to grain protein content in spring wheat variety. *Acta Agronomica Sinica*, 1997, 23(6): 712-718.
- [12] Zhu X K, Guo W S, Feng C N, Peng Y X, Ling Q H. Nitrogen absorption and utilization differences among wheat varieties for different end uses. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2005, 11(2): 148-154.
- [13] Garnier E, Shipley B, Roumet C, Laurent G. A standardized protocol for the determination of specific leaf area and leaf dry matter content. *Functional Ecology*, 2001, 15(5): 688-695.

- [14] Page A L, Miller R H, Keeney D R. *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties*. 2nd ed. Madison: American Society of Agronomy Press, 1982.
- [15] Zhao M X, Zhou J B, Yang R, Zheng X F, Zhai B N, Li S X. Characteristics of nitrogen accumulation, distribution and translocation in winter wheat on dryland. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2006, 12(2): 143-149.
- [16] Shi S B, Li H M, Wang X Y, Yue X G, Xu W H, Chen G C. Comparative studies of photosynthetic characteristics in typical alpine plants of the Qinghai Tibet Plateau. *Acta Phytocologica Sinica*, 2006, 30(1): 40-46.
- [17] Meziane D, Shipley B. Interacting determinants of specific leaf area in 22 herbaceous species: effects of irradiance and nutrient availability. *Plant, Cell and Environment*, 1999, 22(5): 447-459.
- [18] Cornelissen J H C, Lavorel S, Garnier E, Díaz S, Buchmann N, Gurvich D E, Reich P B, ter Steege H, Morgan H D, van der Heijden M G A, Pausas J G, Poorter H. A handbook of protocols for standardized and easy measurement of plant functional traits worldwide. *Australian Journal of Botany*, 2003, 51(4): 335-380.
- [19] Lü J, Li J Q. Research on leaf traits and their interrelationships of plants in Beijing Baihua Mountain. *Science Technology and Engineering*, 2008, 8(12): 3287-3289.
- [20] Zheng S X, Shangguan Z P. The spatial patterns of the leaf nutrient composition in the Loess Plateau. *Progress in Natural Science*, 2006, 16(8): 965-973.
- [21] Reich P B, Oleksyn J. Global patterns of plant leaf N and P in relation to temperature and latitude. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2004, 101(30): 11001-11006.
- [22] Koerselman W, Meuleman A F M. The vegetation N: P ratio: a new tool to detect the nature of nutrient limitation. *Journal of Applied Ecology*, 1996, 33(6): 1441-1450.
- [23] Shipley B, Vu T T. Dry matter content as a measure of dry matter concentration in plants and their parts. *New Phytologist*, 2002, 153(2): 359-364.
- [24] Guitman M R, Arnozis P A, Barneix A J. Effect of source-sink relations and nitrogen nutrition on senescence and N remobilization in the flag leaf of wheat. *Physiologia Plantarum*, 1991, 82(2): 278-284.
- [25] Barbottin A, Lecomte C, Bouchard C, Jeuffroy M H. Nitrogen remobilization during grain filling in wheat: genotypic and environmental effects. *Crop Science*, 2005, 45(3): 1141-1150.
- [26] Shao Y, Li W C, Feng R C, Jiang L N, Yao L J, Li C X. Nitrogen translocation and conversion rate to grain of Xinong 979 in wheat-corn rotation area. *Journal of Triticeae Crops*, 2011, 31(2): 265-269.
- [27] Xu Z Z, Yu Z W, Wang D. Nitrogen translocation in wheat plants under soil water deficit. *Plant and Soil*, 2006, 280(1/2): 291-303.
- [28] Xu Z Z, Yu Z W, Wang D, Zhang Y L. Nitrogen accumulation and translocation for winter wheat under different irrigation regimes. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 2005, 191(6): 439-449.
- [29] Sinclair T R, Pinter P J Jr, Kimball B A, Adamsen F J, LaMorte R L, Wall G W, Hunsaker D J, Adam N, Brooks T J, Garcia R L, Thompson T, Leavitt S, Matthias A. Leaf nitrogen concentration of wheat subjected to elevated [CO₂] and either water or N deficits. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 2000, 79(1): 53-60.
- [30] Ma D H, Wang Y F, Zhao C X, Lin Q. Effects of nitrogen fertilizer rate and post-anthesis soil water content on characteristics of nitrogen metabolism and grain protein content in wheat. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2008, 14(6): 1035-1041.
- [31] Duan W X, Zhang Y L, Shi Y, Yu Z W. Effects of soil-moisture monitoring supplemental irrigation on water consumption characteristics and nitrogen accumulation and translocation in different wheat cultivars. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2011, 17(6): 1309-1317.
- [32] Westoby M. A leaf-height-seed (LHS) plant ecology strategy scheme. *Plant and Soil*, 1998, 199(2): 213-227.
- [33] Wilson P J, Thompson K, Hodgson J G. Specific leaf area and leaf dry matter content as alternative predictors of plant strategies. *New Phytologist*, 1999, 143(1): 155-162.

参考文献:

- [1] 赵春江, 郭晓维, 张其德, 康书江. 不同穗型冬小麦叶片荧光诱变及光谱特性. *中国农业科学*, 1999, 32(2): 43-46.
- [4] 李玉霖, 崔建垣, 苏永中. 不同沙丘生境主要植物比叶面积和叶干物质含量的比较. *生态学报*, 2005, 25(2): 304-311.
- [6] 傅兆麟, 马宝珍, 王光杰, 赵玉华, 李广科. 小麦旗叶与穗粒重关系的研究. *麦类作物学报*, 2001, 21(1): 92-94.
- [7] 郭文善, 封超年, 严六零, 彭永欣, 朱新开, 宗爱国. 小麦开花后源库关系分析. *作物学报*, 1995, 21(3): 334-340.
- [10] 邓蕾, 王鸿喆, 上官周平, 刘广全. 水蚀风蚀交错区村条锦鸡儿叶片比叶面积和营养元素变化动态. *生态学报*, 2010, 30(18): 4889-4897.
- [11] 张庆江, 张立言, 毕恒武. 春小麦品种氮的吸收积累和转运特征及与籽粒蛋白质的关系. *作物学报*, 1997, 23(6): 712-718.
- [12] 朱新开, 郭文善, 封超年, 彭永欣, 凌启鸿. 不同类型专用小麦氮素吸收积累差异研究. *植物营养与肥料学报*, 2005, 11(2): 148-154.
- [15] 赵满兴, 周建斌, 杨绒, 郑险峰, 翟丙年, 李生秀. 不同施氮量对旱地不同品种冬小麦氮素累积、运输和分配的影响. *植物营养与肥料学报*, 2006, 12(2): 143-149.
- [19] 吕佳, 李俊清. 北京百花山植物叶片性状相互关系研究. *科学技术与工程*, 2008, 8(12): 3287-3289.
- [20] 郑淑霞, 上官周平. 黄土高原地区植物叶片养分组成的空间分布格局. *自然科学进展*, 2006, 16(8): 965-973.
- [26] 邵云, 李万昌, 冯荣成, 姜丽娜, 姚利娇, 李春喜. 小麦-玉米轮作区西农 979 不同器官氮素转运及对籽粒贡献率的影响. *麦类作物学报*, 2011, 31(2): 265-269.
- [30] 马东辉, 王月福, 赵长星, 林琪. 施氮量和花后土壤含水量对小麦氮代谢特性和子粒蛋白质含量的影响. *植物营养与肥料学报*, 2008, 14(6): 1035-1041.
- [31] 段文学, 张永丽, 石玉, 于振文. 测墒补灌对不同小麦品种耗水特性和氮素分配与转运的影响. *植物营养与肥料学报*, 2011, 17(6): 1309-1317.