

# 春小麦碳同位素分辨率与相关生理性状的遗传相关分析

王娜<sup>1,2,3</sup>, 许兴<sup>1,3</sup>, 李树华<sup>1</sup>, 景继海<sup>4</sup>, 何军<sup>1</sup>, 朱林<sup>3,5</sup>, 雍利华<sup>6</sup>

(1. 宁夏农业生物技术重点实验室, 宁夏银川 750002; 2. 宁夏师范学院, 宁夏银川 750021; 3. 宁夏大学农学院, 宁夏银川 750021; 4. 宁夏固原地区农科所, 宁夏固原 75600; 5. 西北农林科技大学, 陕西杨凌 712100; 6. 宁夏育才中学, 宁夏银川 750021)

**摘要:** 用 17 份春小麦品种作为试验材料, 在宁夏灌区银川测定碳同位素分辨率( $\Delta$ )、水分利用效率(WUE)、灰分、比叶重、光合气体交换参数, 并在方差分析显著的基础上, 进行遗传、表型和环境相关分析和简单相关分析。结果表明: 各性状在品种间存在显著或极显著差异。 $\Delta G_m$  与  $S_m$ 、WUE、 $m_aL$ 、 $C_i$ 、 $G_s$ 、 $C_i/C_a$  均呈极显著正遗传相关, 与开花期  $P_n$  及灌浆期  $TI$  呈显著负遗传相关;  $\Delta S_m$  与 WUE、 $m_aL$ 、开花期气体交换参数( $C_i$ 、 $G_s$ 、 $C_i/C_a$ ) 的遗传相关性达到极显著正相关水平, 与  $TI$ 、开花期  $P_n$  的遗传相关达到极显著负相关水平, 并且它们之间的遗传相关主要受遗传基因的控制, 环境条件对其相关性影响较小,  $m_aL$  与  $\Delta$  的显著的遗传相关, 作为  $\Delta$  的替代指标有较大的潜力, 认为在灌区适合种植和培育高秆型、高碳同位素分辨率型和低温型小麦。

**关键词:** 小麦; 碳同位素分辨率; 水分利用效率; 遗传相关; 表型相关

**中图分类号:** S512.1\*2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2009)04-0094-05

随着水资源的日益短缺, 作物生产受到水分的限制, 在这种环境下农业生产除采取工程、农艺措施以减少农田水分的径流、蒸发、渗漏损失外, 提高植物本身的水分利用效率(WUE)是实现高效用水的中心和潜力所在<sup>[1]</sup>。水分利用效率(WUE)实质上反映了植物耗水与其干物质生产之间的关系, 是评价植物生长适宜程度的综合生理生态指标。但由于植物 WUE 受多基因控制, 又通过多途径实现, 并且在大田只能测定作物蒸腾量和植株干重来反映 WUE, 所以给育种工作带来困难。在 1982 年, Farkuhar 等通过大量试验发现植物的 WUE 与体内的碳同位素分辨率( $\Delta$ )有密切关系, 特别是  $C_3$  植物的  $\Delta$  可以体现不同植物的 WUE, Farquhar 和 Richards<sup>[2]</sup> 在 1984 年提出可以用  $\Delta$  值来作为  $C_3$  植物及其它作物 WUE 的选育指标。水分利用效率是一个综合性状, 它与品种对水分代谢的反应, 对光合产物的合成和分配的遗传差异密切相关。但在小麦抗旱节水品种的比较研究中, 以往侧重在  $\Delta$  和 WUE、产量、灰分等相关指标生理研究中<sup>[3-6]</sup>, 关于  $\Delta$  和 WUE、产量、灰分等相关指标的遗传相关的研究报较少。因此, 鉴于  $\Delta$  在提高植物 WUE 方面的重要性, 研究  $\Delta$  和光合气体交换参数、WUE、灰分之间

的遗传相关性, 以期选育抗旱节水新品种提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料

供试材料分别来自于中国西部及宁夏区内各育种单位育成的地方品种、育成品种和高代材料及国外引进品种共 15 份。地方品种: 毛火麦、红芒麦; 育成品种: 永 3119、陕 SW1206、晋偃 746-9、宁春 27 号、宁春 4 号、宁春 30 号、宁春 32 号、新 93-32; 高代材料: 03A4022、03S111、03A4269; 国外引进品种: F3-7(法国)、Drysda(澳大利亚春麦)。

### 1.2 试验点条件及处理

试验点条件见表 1。

银川试验点, 于 2007 年 3 月 1 日播种, 随机区组排列, 每个小区种 5 行, 行长 2 m, 每行 200 粒种子, 行距 15 cm, 小区面积 1.5 m<sup>2</sup>, 小区间留空行, 重复 3 次; 全生育期灌两水, 分蘖期灌水量为 120 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>。拔节期的灌水量为 60 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>。试验地四周压入 100 cm 深的塑料薄膜隔离, 以防水分渗透, 灌水时用量水堰监测灌水量。小麦生长期定期除草、施肥及病虫害防治。

收稿日期: 2008-03-12

基金项目: 国际原子能项目“中国西北小麦农艺水分利用效率的改良研究”(12561/RBF); 973 计划项目“作物应答高盐、低温胁迫的分子调控机理”(G2006CB100106)

作者简介: 王娜(1982—), 女, 宁夏银川市人, 在读研究生, 研究方向为作物抗性生理。E-mail: wn-8409045@163.com。

通讯作者: 许兴(1959—), 男, 宁夏银川人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事植物逆境生理生态与分子生物学方面研究工作。

表1 试验点的地理、土壤及气象参数  
Table 1 The geographical, soil and climatic conditions of the test site

试验点 Site	海拔 Altitude (m)	土壤类型 Soil type	年降雨量 Rainfall (mm)	蒸发量 Evaporation (mm)	年日照时数 Sunshine hours (h)	≥10℃活动积温 Accumulated temperature(≥10℃) (℃)
银川 Yinchuan	1111	灌溉土 Irrigation warping soil	150~200	1700~1900	2898~3040	3200~3300

### 1.3 测定项目及方法

土壤含水量:于播种前、苗期、分蘖期、拔节期、抽穗开花期和灌浆期、成熟期采用 TDR 土壤水分测定仪测定,测定深度为 0~200 cm。

碳同位素分辨率测定:分别取成熟期茎秆(地表以上 5 cm 长)和成熟期籽粒,在 70℃ 下烘干 24 h 至恒重并磨细过 100 目筛,寄往中国科学院植物研究所稳定性碳同位素实验室测定,各材料小麦样品的碳同位素组成  $\delta^{13}\text{C}$  由质谱仪检测和计算出,碳同位素分辨率  $\Delta$  根据各自的  $\delta^{13}\text{C}$  值由 Farquhar 等<sup>[7]</sup>的公式计算出,即  $\Delta(\text{‰}) = [(\delta^{13}\text{C}_{\text{空气}} - \delta^{13}\text{C}_{\text{样品}}) \times 1000] / (1 + \delta^{13}\text{C}_{\text{样品}})$ ,其中,  $\delta^{13}\text{C}_{\text{空气}} = -7\text{‰}$ 。

灰分:分别取成熟期叶片、成熟期籽粒、成熟期茎秆(地表以上 5 cm 长)。将小麦样品在 70℃ 下烘干至少 24 h,称重,放入 SX4-10 箱式电阻炉中在 880℃ 的温度下完全燃烧至恒重,用万分之一的电子天平称重,计算单位干物质的灰分含量。

比叶重:取拔节期小麦叶片,立刻采用美国生产的 LI-3000A 型测叶片叶面积,将样品在 70℃ 烘干 24 h,称其干重。计算公式:比叶重 = 干重/叶面积。

光合气体交换参数:用英国 ppSystems 公司产 CIRAS-1 型便携式光合作用系统,在小麦开花及灌浆期,每小区随机选 5 株在晴天上午 8:30~11:30 测定旗叶各项光合生理指标,温度、湿度均为环境水平,大气  $\text{CO}_2$  浓度 380  $\mu\text{mol}/\text{mol}$  左右,光合有效辐射  $1450 \pm 50 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。自然光下待数据稳定后保存 5 个数据,取其平均值。

水分利用效率(WUE):水分利用效率 = 单位面积籽粒产量/(2 m 深土层在播种前和收获时的减少量 + 单位面积灌水量 + 降雨量)。小麦生育期耗水量用水分平衡法计算,即:  $ET = (W_h + R + I + e) - (W_k + f + n)$ ,其中  $ET$  为作物耗水量( $\text{m}^3$ );  $W_h$  为播种时 200 cm 土层水分储量,由土壤含水量计算出;  $R$  为生育期每公顷降雨量;  $I$  为每公顷灌水量,由量水堰测定;  $e$  为从土壤下层进入 200 cm 土层水量;  $W_k$  为收获时 200 cm 土层中水储量,由土壤含水量计算出;  $f$  为渗透至 200 cm 以下水量;  $n$  为径流量。由于

$e$ 、 $f$ 、 $n$  对  $ET$  的影响较小,忽略不计,所以  $ET = (W_h + R + I) - W_k$ 。

### 1.4 统计方法

数据采用 DPS 数据处理系统和西北农林科技大学毛建昌设计的《LNT 农业统计软件包》进行处理。

## 2 结果与分析

### 2.1 碳同位素分辨率( $\Delta$ )、WUE、灰分、光合气体交换参数的方差分析

对 17 个品系各性状进行方差分析,结果见表 2 和表 3。  $F$  检验表明,各性状重复间差异不显著,各基因型间方差均达到显著或极显著差异水平。说明该试验取样调查具有一定的可靠性和代表性,试验控制良好。对于各性状,不同基因型间存在可遗传变异,可作进一步遗传分析。

### 2.2 碳同位素分辨率与光合气体交换参数的表型、遗传相关性及相关性比较分析

2.2.1 遗传相关分析 了解性状间的遗传、表型相关和环境相关,对于选种、育种中性状的同步改良及通过一个性状对另一个性状的间接改良具有重要的指导意义。由表 4 知,除个别的指标外,遗传相关性和表型相关性达到一致水平。成熟期籽粒碳同位素分辨率( $\Delta G_m$ )和成熟期茎秆碳同位素分辨率( $\Delta S_m$ )分别与开花期间  $\text{CO}_2$  浓度( $C_i$ )、气孔导度( $G_s$ )、胞间  $\text{CO}_2$  浓度/大气  $\text{CO}_2$  浓度比值( $C_i/C_a$ )表现为极显著正遗传相关性,与光合速率( $P_n$ )呈显著负遗传相关,说明  $\Delta G_m$  与  $C_i$ 、 $G_s$ 、 $C_i/C_a$ 、 $P_n$  的相关主要受遗传因素的影响,受环境条件的影响较小;叶片温度( $T_l$ )与  $\Delta S_m$  呈极显著负遗传相关,环境相关系数较小,与  $\Delta G_m$  的遗传和表型相关不明显。 $\Delta S_m$  主要反映小麦开花期前一段时间光合能力,叶片生产的一部分光合产物以碳水化合物的形式暂时储存于茎和叶鞘中,作为籽粒灌浆的“临时库”<sup>[8-10]</sup>,认为麦秆的“仓库”作用对作物丰产至关重要。在灌浆中后期茎和叶鞘储存的光合产物输送到籽粒中<sup>[11-13]</sup>,而上部茎主要向籽粒输送光合产物,下部茎输送光合物质较少<sup>[14]</sup>。

表 2 两个时期光合气体交换参数的方差分析

Table 2 Variance analysis of parameter about photosynthesis and exchanging of air during two stages

时期 Stage	变异来源 Source	DF	$G_i$	$G_s$	$C_i/C_a$	$P_n/Tr$	$P_n$	$Tr$	$T_l$
开花期 Flowering stage	重复间 Repeat	2	1929.3	13731.2	0.018	2.283	1.964	0.417	0.353
	品种间 Varieties	16	5276.9	37881.2	0.026	4.115	63.487	2.429	13.34
	误差 Error	32	1567.52	11833.1	0.013	1.43	1.156	0.316	0.262
	$F_1$ 值 $F_1$ value	—	3.366**	3.20**	2.005*	2.877**	54.92**	7.69**	50.86**
	$F_2$ 值 $F_2$ value	—	1.231	1.16	1.431	1.596	1.699	1.321	1.344
灌浆期 Filling stage	重复间 Repeat	2	95.06	96951.5	0.0008	0.135	16.462	0.20	0.590
	品种 Variety	16	4130.2	329589	0.017	8.915	119.01	7.71	7.055
	误差 Error	32	999.76	68326.4	0.006	0.359	6.53	0.11	0.2574
	$F_1$ 值 $F_1$ value	—	4.131**	4.82**	2.791**	24.81**	18.22**	69.98**	27.41**
	$F_2$ 值 $F_2$ value	—	0.095	1.419	0.122	0.376	2.521	1.762	2.29

注:  $P_n/Tr$  光合速率/蒸腾速率;  $P_n$ , 光合速率;  $Tr$ , 蒸腾速率;  $G_s$ , 气孔导度;  $G_i$ , 胞间  $CO_2$  浓度;  $T_l$ , 叶片温度;  $C_a$ , 大气  $CO_2$  浓度;  $C_i/C_a$ , 胞间  $CO_2$  浓度/大气  $CO_2$  浓度。  $F_1$  值表示品种间  $F$  值;  $F_2$  值表示重复间  $F$  值。\*, \*\* 分别表示在  $P < 0.05$  和  $P < 0.01$  上的差异水平。下同。

Note:  $P_n/Tr$ , Photosynthetic rate/Transpiration rate;  $P_n$ , Photosynthetic rate;  $Tr$ , Transpiration rate;  $G_s$ , Stomatal conductance;  $G_i$ , Interstellar  $CO_2$  concentration;  $T_l$ , Leaf temperature;  $C_a$ , air  $CO_2$  concentration;  $C_i/C_a$ , Interstellar  $CO_2$  concentration/air  $CO_2$  concentration.  $F_1$  means  $F$  value of varieties;  $F_2$  means  $F$  value of repeats. \*, \*\* Shows significance at  $P < 0.05$  and  $P < 0.01$ , respectively. They are the same as below.

表 3  $\Delta$ 、 $WUE$ 、灰分等生理性状的方差分析Table 3 Variance analysis of  $\Delta$ 、 $WUE$ 、ash and other physiologic traits

变异来源 Source	DF	$\Delta G_m$	$\Delta S_m$	$WUE$	$m_sL$	$m_sG_m$	$m_sS$	$SLDW$
重复间 Repeat	2	0.0082	0.0599	0.05	$1 \times 10^5$	0.9726	0.0017	0.0185
品种 Variety	16	0.1751	0.4219	0.2496	0.0004	5.8807	0.0185	1.6761
误差 Error	32	0.0416	0.0621	0.0248	$8 \times 10^6$	2.0157	0.0006	0.5573
$F_1$ 值 $F_1$ value	—	4.21**	6.79**	10.08**	49.92**	2.92**	31.03**	3.007**
$F_2$ 值 $F_2$ value	—	0.197	0.964	2.021	0.013	0.48	2.86	0.033

注:  $\Delta G_m$ , 成熟期籽粒碳同位素分辨率;  $\Delta S_m$ , 成熟期茎秆碳同位素分辨率;  $WUE$ , 籽粒产量/(2 m 深土壤在播种前和收获时的减少量 + 灌水量 + 降雨量);  $m_sL$ , 成熟期叶片灰分;  $m_sG_m$ , 成熟期籽粒灰分;  $m_sS$ , 成熟期茎秆灰分;  $SLDW$ , 拔节期比叶重。

Note:  $\Delta G_m$ , mature of grain  $\Delta$ , mature of straw  $\Delta$ ,  $WUE$  grain yield/(soil water content during different growth periods + irrigation water + total rainfall from Jan. to Aug.);  $m_sL$ , mature of leaf ash;  $m_sG_m$ , mature of grain ash;  $m_sS$ , mature of straw ash;  $SLDW$ , special leaf weight in jointing stage.

2.2.2 简单相关分析  $\Delta S_m$ 、 $\Delta G_m$  分别与开花期的  $C_i$ 、 $G_s$ 、 $C_i/C_a$  呈显著或极显著正相关(表 4), 与  $T_l$  呈极显著负相关, 与  $P_n$ 、 $Tr$ 、 $P_n/Tr$  呈弱的相关性。研究发现,  $\Delta$  受气孔导度和光合能力两者平衡的影响<sup>[15]</sup>。本试验结果表明,  $\Delta$  与  $G_s$  的相关性较强, 说明小麦的  $G_s$  主要影响  $\Delta S_m$  和  $\Delta G_m$  的变化, 通过选择与  $G_s$  有关的性状即可以达到间接提高  $\Delta$  和水分利用效率( $WUE$ )。

### 2.3 碳同位素分辨率与 $WUE$ 、灰分等指标的相关性比较分析

2.3.1 遗传相关分析  $\Delta$  与相关指标的表型相关、遗传相关和环境相关及简单相关见表 5。由表知, 各性状的表型相关系数和遗传相关系数具有高度的统一性, 遗传相关表现强于表型相关。在遗传相关和表型相关中,  $\Delta G_m$  和  $\Delta S_m$  分别与成熟期叶片灰分( $m_sL$ )、 $WUE$  达到极显著正相关水平, 而环境相

关不明显;  $\Delta G_m$  与比叶重( $SLDW$ )呈极显著遗传正相关, 表型分析中表现不明显;  $\Delta G_m$  与  $\Delta S_m$  达到显著正遗传相关性, 环境相关表现不明显。  $\Delta G_m$  与成熟期籽粒灰分( $m_sG_m$ )呈显著负遗传相关, 表型相关不明显, 且环境因素影响可以忽略不计。

$\Delta S_m$  与  $SLDW$  呈极显著正遗传相关和表型相关, 但不能忽视环境条件的影响, 因为环境相关达到极显著水平( $r_e = 0.376$ ); 与成熟期茎秆灰分( $m_sS$ )呈负表型相关和极显著负遗传相关。

2.3.2 简单相关分析  $m_sL$  与  $\Delta S_m$ 、 $\Delta G_m$  呈显著或极显著正相关(表 5), 这说明  $m_sL$  反映了小麦植株整个生长期叶片  $WUE$  以及向籽粒转运同化产物的效率和程度。  $m_sS$  和  $\Delta S_m$  呈极显著负相关, 这与本文前面关于光合气体交换参数与  $\Delta$  的研究结果一致。

表 4  $\Delta$  与光合气体交换参数的表型相关性、遗传相关性及简单相关性

Table 4 Significance analysis of phenotypic correlation and genetic correlation and simple between  $\Delta$  and parameters about photosynthesis and exchanging of air during flowering stage

时期 Stage	指标 Traits	$\Delta G_m$				$\Delta S_m$			
		$r_p$	$r_g$	$r_e$	$r$	$r_p$	$r_g$	$r_e$	$r$
开花期 Flowering stage	$C_i$	0.480**	0.583**	0.093	0.667**	0.734**	0.876**	0.174	0.702**
	$G_s$	0.535**	0.418**	0.027	0.552*	0.579**	0.681**	0.118	0.539*
	$C_i/C_a$	0.589**	0.740**	-0.044	0.637**	0.737**	0.880**	-0.143	0.645**
	$P_n$	-0.302*	-0.352*	-0.162	-0.300	-0.353**	-0.409**	0.008	-0.210
	$T_l$	0.091	0.111	0.008	-0.179	-0.155	-0.192	0.042	-0.142
	$P_n/T_l$	-0.182	-0.205	-0.186	-0.507*	-0.517**	-0.612**	0.215	-0.498*
灌浆期 Filling stage	$C_i$	-0.268	-0.344*	0.03	0.023	-0.124	-0.119	-0.179	0.061
	$G_s$	0.301*	0.377**	-0.044	0.515*	0.263	0.310*	-0.066	0.252
	$C_i/C_a$	0.314*	0.393**	-0.154	0.276	0.178	0.205	-0.036	0.092
	$P_n$	0.289*	0.370**	-0.027	0.342	0.16	0.226	-0.236	0.050
	$T_l$	-0.023	-0.029	0.022	-0.325	0.147	0.17	-0.036	-0.049
	$P_n/T_l$	0.091	0.111	0.008	-0.179	-0.118	-0.206	-0.141	-0.273
		-0.286*	-0.359**	0.037	-0.589*	-0.575**	-0.664**	-0.024	-0.608*
		0.088	0.107	0.018	0.023	0.283*	0.350*	-0.159	0.061

注:  $r_p$  为表型相关系数,  $r_g$  为遗传型相关系数,  $r_e$  为环境相关系数,  $r$  为简单相关系数。\*, \*\* 分别表示在  $P < 0.05$  和  $P < 0.01$  上的差异水平。下同。

Note:  $r_p$ , phenotypic correlation coefficient;  $r_g$ , genetic correlation coefficient;  $r_e$ , environal correlation coefficient;  $r$ , simple coefficient. \*, \*\* shows significance at  $P < 0.05$  and  $P < 0.01$ , respectively. They are the same as below.

表 5  $\Delta$  与 WUE、灰分等生理性状间的表型、遗传和简单显著性分析

Table 5 Significance analysis of phenotypic correlation, genetic correlation and correlation between  $\Delta$  and WUE, ash and other physiological traits

指标 Traits	$\Delta G_m$				$\Delta S_m$			
	$r_p$	$r_g$	$r_e$	$r$	$r_p$	$r_g$	$r_e$	$r$
WUE	0.352*	0.430**	0.087	0.382	0.352*	0.430**	0.182	0.658**
$m_aL$	0.608**	0.728**	0.187	0.595*	0.454**	0.504**	0.208	0.633**
$m_aG_m$	-0.235	-0.286*	-0.106	0.054	-0.151	-0.099	-0.138	0.071
$maS$	-0.072	-0.156	0.289*	-0.261	-0.315*	-0.385**	0.042	-0.577*
SLDW	0.259	0.559**	-0.358**	0.601**	0.619**	0.718**	0.376**	0.587*
$\Delta S_m$	0.560**	0.752**	0.061	0.700**	1	1	1	1

比叶重一般是反映叶片光合能力的指标,它与叶片厚度以及叶肉细胞密度呈正相关,因而较厚的叶片具有较发达的光合机能和单位叶面积光合碳同化潜能<sup>[16]</sup>。SLDW 与  $\Delta S_m$ 、 $\Delta G_m$  呈显著正相关,这与朱林<sup>[17]</sup>、薛勤慧<sup>[18]</sup>的研究结果相反。出现两种相反的结论,可能与 SLDW 的采样时期和采样器官有关。

$\Delta S_m$  和 WUE 呈极显著的正相关,反映了籽粒灌浆也依赖茎秆来完成。产量与  $\Delta G_m$  相关性不显著,这与 Misra<sup>[19]</sup>的研究结果一致。所有栽培作物的气孔开度可能比较大,导致了  $C_i/C_a$  和  $\Delta$  值的增加<sup>[20]</sup>,但光合速率的增强意味着  $C_i/C_a$  的降低,而气孔开度大可以弥补由于光合的增强引起的  $C_i/C_a$

的降低。

### 3 讨论

#### 3.1 $\Delta$ 与 $C_i$ 、 $G_s$ 、 $P_n$ 、 $T_l$ 、 $P_n/T_l$ 的遗传相关

本试验结果显示:  $\Delta G_m$  与  $C_i$ 、 $G_s$ 、 $C_i/C_a$ 、 $T_l$  在小麦开花期和灌浆期表现了遗传相关一致性,  $\Delta G_m$  与  $C_i$ 、 $G_s$ 、 $C_i/C_a$ 、 $T_l$  的相关主要受遗传因素的控制,具有遗传相关的稳定性,  $\Delta G_m$  与  $C_i$ 、 $G_s$  的遗传相关性较  $P_n$  好,是否说明  $G_s$  主要引起植物胞间  $C_i$  的降低,从而导致  $P_n$  降低,即  $C_i$  与  $P_n$  呈负相关。小麦灌浆期高  $\Delta$  始终与低  $T_l$  相伴随,在灌区培育高  $\Delta$ 、低  $T_l$ 、矮秆的小麦新品系,有利于缓解灌浆期高温对作物生长的迫害,低  $T_l$  型小麦利于绿叶维持较

长时间,增加源的供给,生长后期粒重的增加<sup>[21-23]</sup>,即在灌浆结实期间温度偏低有利于早衰的延缓和粒重的增加,矮秆可以避免后期多雨,减少小麦后期倒伏现象,有利于形成产量。

### 3.2 $\Delta$ 与 $WUE$ 、 $m_aL$ 、 $m_aG_m$ 、 $m_aS$ 、 $SLDW$ 的遗传相关

$\Delta$ 与  $WUE$  的遗传相关达到极显著正相关,在一定意义上说明,产量与  $WUE$  在很大程度上受  $G_s$  的影响<sup>[3]</sup>。 $\Delta G_m$  与  $m_aL$ 、 $m_aG_m$ 、 $m_aS$ 、 $SLDW$  的遗传相关结果表明, $\Delta G_m$  与  $\Delta S_m$ 、 $m_aL$  的遗传相关达到极显著或显著正相关水平,且环境因素的影响较小,主要受遗传因素控制,这与雍立华<sup>[24]</sup>等的研究结果一致,即环境条件对  $\Delta G_m$ 、 $WUE$  的影响较小;与  $m_aG_m$  的遗传相关性表现为显著负相关, $m_aG_m$  主要受生理生化过程的影响而不是主要受蒸腾作用的影响,籽粒中的一些离子,如  $K^+$ 、 $Ca^{2+}$  和  $Mg^{2+}$ ,主要是通过韧皮部的主动运输积累而不是通过蒸腾水流被动地积累<sup>[25]</sup>, $\Delta G_m$  较低的基因型灌浆主要依赖衰老器官及组织中所贮存的同化产物向籽粒中的转运,而这些器官和组织中的灰分比例往往是较高的,从而导致了  $m_aG_m$  与  $\Delta G_m$  的负相关<sup>[26]</sup>,也可以解释  $\Delta S_m$  与  $m_aS$  的负相关。

### 参考文献:

- [1] 山 仑,徐 萌.节水农业及其生理生态基础[J].应用生态学报,1991,2(1):70—76.
- [2] Farquhar G D, Richards R A. Isotopic composition of plant carbon correlates with water use efficiency of wheat genotypes[J]. Aust J Plant Physiol,1984,11:539—552.
- [3] Farquhar G D, Leary M H, Berry J A. On the relationship between carbon isotope and discrimination intercellular carbon dioxide concentration in leaves[J]. J Plant Physiol,1982,(9):121—137.
- [4] 林植芳.稳定碳同位素在植物生理生态研究中的应用[J].植物生理学通讯,1990,(3):1—6.
- [5] Hall A E, Farquhar G D, Ehleringer J R. Stable isotopes and plant Carbonwater relation[J]. Academic Press,1993,2(6):155—172.
- [6] Delucia E H, Schlesinger W H. Resource-use efficiency and drought tolerance in adjacent Great Basin and Sierran Plants[J]. Ecology,1991,27(1):51—58.
- [7] Farquhar G D, Ehleringer J R, Hubick K T. Carbon isotope discrimination and photosynthesis[J]. Annual Review of Plant Physiology and Molecular Biology, 1989,40:503—537.
- [8] Gallagher J N, Bischoff P V, Scott R K. Stability of grain weight[J]. Appl Eco., 1975,12:319—326.
- [9] Scott R K, Dennis-Jones R. The physiological background of barley [J]. J Nat Inst Agr Bot, 1976,14:182—187.
- [10] 姜 东,于振文,李永庚,等.冬小麦开花后茎和叶鞘中储存的碳水化合物含量的变化[J].植物生理学通讯,2000,36(6):507—511.
- [11] 冯佰利.干旱条件下不同基因型小麦灌溉温度及生物学特性[D].杨凌:西北农林科技大学,2003.
- [12] 周春菊,张嵩午,王林权,等.施肥对小麦灌溉层温度的影响及其于生物学性状的关联[J].生态学报,2005,25:18—22.
- [13] 张嵩午,王长发.小麦潜在库容研究[J].西北农业学报,1999,8(2):16—19.
- [14] 吕金印.小麦生育后期限量灌溉的生理生化基础[D].杨凌:西北农林科技大学,2003.
- [15] 张正斌.作物抗旱节水的生理遗传育种基础[M].北京:科学出版社,2003:12—13.
- [16] Brown R H, Byrd C T. Relationships between specific leaf dry weight and mineral concentration among genotypes [J]. Field Crops Research,1996,54:19—28.
- [17] 朱 林,许 兴,李淑华,等.宁夏不同生态区春小麦节水指标的研究[J].宁夏农林科技,2006,(3):1—3.
- [18] 薛慧勤,甘信民,孙明辉,等.干旱条件下花生水分利用效率与叶片碳同位素分辨率辨别力的相关性研究[J].中国油料作物学报,1999,21(1):27—34.
- [19] Misra S C, Randive R, Sheshahayee V S, et al. Relationship between carbon isotope discrimination, ash content and grain yield in wheat in the Peninsular Zone of India [J]. J Agronomy and Crop Science, 2006,192:352—362.
- [20] Morgan J A, LeCain D R, McCaig T N, et al. Gas exchange, carbon isotope discrimination and productivity in winter wheat [J]. Crop Sci, 1993,33:178—186.
- [21] 张嵩午,王长发.冷型小麦及其生物学特征[J].作物学报,1999,25(5):608—615.
- [22] Fischer R A. 小麦籽粒灌浆时的库源互作[J].麦类作物,1985,27(6):36—39.
- [23] Sayed H L, Ghandorah M O. Association of grain filling characteristics with grain weight and senescence in wheat under warm dry conditions [J]. Field Crops Res,1984,9:323—332.
- [24] 雍立华,许 兴,李树华,等.春小麦碳同位素分辨率与水分利用效率的相关性[J].干旱地区农业研究,2007,25(5):80—84.
- [25] Monneveux P, Trethowan R, Reynolds M P, et al. Variation in carbon isotope discrimination and its association with grain yield in wheat ( $C_3$ ) and maize ( $C_4$ ) [R]. Vienna, Austria: FAO/AEA research coordination meeting in Vienna,2004.
- [26] Merah O, Deleens E, Souyris I, et al. Stability of carbon isotope discrimination and grain yield in durum wheat [J]. Crop Science, 2001,41:677—681.

(英文摘要下转第 110 页)

- [14] 姚庆群, 谢贵水. 干旱胁迫下光合作用的气孔与非气孔限制 [J]. 热带农业科学, 2005, 25(4): 80—85.
- [15] 关义新, 戴俊英, 林 艳. 水分胁迫下植物叶片光合的气孔和非气孔限制 [J]. 植物生理学通讯, 1995, 31(4): 293—297.
- [16] 张国盛, 张仁陟, 黄高宝, 等. 水分亏缺时氮磷营养对春小麦幼苗抗逆性的影响 [J]. 应用与环境生物学报, 2003, 9(6): 584—587.
- [17] 关军锋, 李广敏. 干旱条件下施肥效应及其作用机理 [J]. 中国生态农业学报, 2002, 10(1): 59—61.

## Regulating effect of fertilization form on gas exchange in leaves of sweet potato under different soil water conditions

XU Yu-bin<sup>1</sup>, CHEN Yue<sup>1</sup>, QI Xiang-ying<sup>2</sup>

(1. Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2. Yulin Institute of Agriculture, Yulin, Shaanxi 719000, China)

**Abstract:** To understand the regulating effects of soil water and fertilization on gas exchange in sweet potato leaves under different conditions of soil water, with two cultivars of Qinshu 4 and 619 as materials, a pot experiment was conducted to measure and assay photosynthesis rate ( $P_n$ ), water use efficiency ( $WUE$ ), transpiration rate ( $Tr$ ), stomatal conductance ( $G_s$ ), intercellular  $CO_2$  concentration ( $C_i$ ) and stomatal limitation value ( $L_s$ ). The results showed that soil water and fertilization significantly influence  $P_n$ ,  $Tr$ ,  $WUE$ ,  $G_s$  and  $L_s$ . An apparent interaction existed between soil water and fertilization. Compared to the soil water content of 70% ~ 75%, the changes of  $P_n$ ,  $Tr$ ,  $WUE$ ,  $G_s$  and  $L_s$  were smaller under the soil water of 40% ~ 45%, while under the soil water of 30% ~ 35%,  $P_n$ ,  $Tr$ ,  $WUE$ ,  $G_s$  and  $L_s$ , decreased significantly but  $C_i$  increased remarkably. Fertilization could enhance  $P_n$ ,  $Tr$ ,  $WUE$ ,  $G_s$  and  $L_s$ , but reduce  $C_i$ . The regulating effect of these indexes with combined application of nitrogen and phosphorus was better than that with single application of nitrogen. The change of  $C_i$  and  $L_s$  under different treatments showed the gas exchange of sweet potato leaves was mainly limited by stomatal factors under the soil water of 40% ~ 45%, and was mainly limited by non-stomatal factors. Fertilization could promote the gas exchange of sweet potato leaves by enhancing the effect of stomatal factors.

**Key words:** sweet potato; soil water; fertilization form; gas exchange; regulation

(上接第 98 页)

## Genetic correlation analysis between carbon isotope discrimination and relevant traits in spring wheat

WANG Na<sup>1,2,3</sup>, XU Xing<sup>1,3</sup>, LI Shu-hua<sup>1</sup>, JING Ji-hai<sup>4</sup>, HE Jun<sup>1</sup>,  
ZHU Lin<sup>3,5</sup>, YONG Li-hua<sup>6</sup>

(1. Ningxia Agricultural Bio-Technology Laboratory, Yinchuan, Ningxia 750002, China; 2. Ningxia Teachers University, Yinchuan, Ningxia 750021, China; 3. Agricultural College, Ningxia University, Yinchuan, Ningxia 750021, China; 4. Guyuan Institute of Agricultural Sciences, Guyuan, Ningxia 756000, China; 5. Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 6. Ningxia Yucai Middle School, Yinchuan, Ningxia 750021, China)

**Abstract:** In order to provide references to the research of water use efficiency, 17 spring wheat lines were grown in Yinchuan site in 2007. The phenotypic correlation and genetic correlation analysis based on the remarkable generation variance analysis and simple correlation were carried on. The results showed that genotypes are significant different. Relationship between  $\Delta G_m$  and  $\Delta S_m$ ,  $WUE$ ,  $maL$ ,  $C_i$ ,  $G_s$  and  $C_i/C_a$  are extremely positively genetic correlated, but with  $P_n$  in flowering stage and  $TI$  in filling stage are significantly negatively correlated respectively;  $\Delta S_m$  is extremely positively genetic correlated with  $WUE$ ,  $maL$ ,  $C_i$ ,  $G_s$ ,  $C_i/C_a$  in flowering stage, while negatively genetic correlated with  $TI$  and  $P_n$  in flowering stage. At last it demonstrates the relationship between  $\Delta$  and  $WUE$ , ash content and so on, and it concludes that a good genetic correlations among relevant traits and  $\Delta$ .

**Key words:** wheat; carbon isotope discrimination; water use efficiency; genetic correlation; phenotypic correlation