

不同年代主栽冬小麦品种蜡质含量 与生理指标的关系

黄 玲¹, 高 阳¹, 李新强¹, 邱新强², 申孝军¹, 巩文军³, 段爱旺¹

(1. 中国农业科学院农田灌溉研究所/农业部作物需水与调控重点开放实验室, 河南 新乡 453003;

2. 河南省水利科学研究院, 河南 郑州 450003; 3. 河南省焦作市广利灌区管理局, 河南 沁阳 454550)

摘 要: 为明确不同水分处理下不同年代主栽冬小麦品种在生育后期蜡质含量与主要生理指标的关系, 选择建国以来河南中北部麦区不同年代主栽的 6 个冬小麦品种为试验材料, 设置三个水分处理: W0, 返青后不灌水; W1, 拔节期灌水; W2, 拔节和灌浆期分别灌水, 研究了不同灌水下灌浆期冬小麦旗叶蜡质含量、气体交换参数以及籽粒产量和水分利用效率等指标变化。结果表明: 旗叶表面蜡质含量与光合速率、蒸腾速率、叶水势和籽粒产量极显著负相关, 与叶片温度呈极显著正相关, 与叶片 WUE 和产量水平 WUE 相关不显著。在品种更替过程中, 冬小麦旗叶蜡质含量先增加后降低, 20 世纪 70—80 年代品种蜡质含量最高, 比其它年代品种高 14.4% ~ 86.9%, 而籽粒产量比 90 年代后品种降低 6.6% ~ 23.0%, 叶片 WUE 比其它年代品种降低 11.8% ~ 17.9%, 产量水平 WUE 比 90 年代后品种降低 6.8% ~ 22.0%。水分胁迫增加了旗叶表面蜡质含量, 使得旗叶光合速率降低, CO₂ 同化作用减弱, 同化产物输出减少, 最终引起籽粒产量降低。

关键词: 冬小麦; 蜡质含量; 品种更替; 生理指标; 籽粒产量; 水分利用效率

中图分类号: S152.7; S157.4 文献标志码: A 文章编号: 1000-7601(2013)05-0213-07

Relationship between wax content and physiological characters of winter wheat during different ages

HUANG Ling¹, GAO Yang¹, LI Xin-qiang¹, QIU Xin-qiang²,
SHEN Xiao-jun¹, GONG Wen-jun³, DUAN Ai-wang¹

(1. Farmland Irrigation Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences/ Key Lab for Crop Water Requirement and Its Regulation of Ministry of Agriculture, Xinxiang, He'nan 453003, China;

2. He'nan Provincial Water Conservancy Research Institute, Zhengzhou, He'nan 450003, China;

3. Jiaozuo Guangli Irrigation District, Qinyang, He'nan 454550, China)

Abstract: In order to clarify the relationship between wax accumulation and physiological characters of winter wheat cultivars bred at different eras under different water treatments, six representative winter wheat cultivars were selected from the central Henan in different period to study wax content and gas exchanging parameter etc. Three irrigation levels were consisted with the following water treatments: no irrigation after returning green stage (W0), one irrigation at jointing stage (W1), two irrigations at jointing and milky stage respectively (W2). The results showed there were significant negative correlations among wax content of leaf and photosynthesis rate, transpiration rates, leaf water potential and grain yield. There were significant positive correlation between wax content and leaf temperature. There was no significant correlation with WUE of leaf and WUE of grain yield. The wax content of flag leaf of winter wheat increased first and decreased later with years. The wax content of winter cultivars bred in 1970s and 1980s improved by 14.9% ~ 86.9% than other age cultivars. The decrease in grain yield of winter wheat bred in 1970s and 1980s was from 6.8% to 22.0% than bred after 1990s. The decrease in leaf WUE of winter wheat bred in 1970s and 1980s was from 11.8% to 17.9% than other cultivars. The decrease in WUE of yield of winter wheat bred in 1970s and 1980s was from 11.8% to 17.9% than

收稿日期: 2013-04-23

基金项目: 现代农业产业技术体系建设专项资金资助 (CARS-3-1-30); 公益性行业 (农业) 科研专项 (201203077); 国家高技术研究发展计划项目 (2011AA100509, 2011AA100502)

作者简介: 黄 玲 (1976—), 女, 甘肃兰州人, 博士生, 助理研究员, 主要从事作物水分生理与高效用水研究。E-mail: holly7681@163.com。

通信作者: 段爱旺 (1963—), 男, 山西黎城人, 博士, 研究员, 博士生导师, 主要从事作物水分生理与高效用水研究。E-mail: duanaiwang@aliyun.com。

bred after 1990s. Accumulation wax on leaf blade under water stress was lower. The photosynthetic rate and the CO₂ assimilation products declined at water stress so that the grain yield declined.

Keywords: winter wheat; wax content; cultivars replacement; physiological characters; grain yield; WUE

茎叶秆表面覆有蜡质是冬小麦的一大形态特征。蜡质一般位于外角质层,从而使得小麦叶片和茎秆呈现出绿灰色或灰白色。蜡质主要成分由一系列疏水物质,如可溶性超长链脂肪酸、烷烃、一级醇、二级醇、脂肪醛、酮类和酯类组成^[1]。蜡质最重要的生态学功能是维持植物组织水分平衡、防止非气孔性水分散失。不同小麦品种或同一品种的不同生长时期与不同组织器官的蜡质含量和组成是不相同的^[2]。Johnson 等研究表明,有蜡质表型的小麦品系水分利用效率、产量和生物量要高于无白霜状的小麦品系^[3];有蜡质叶片的渗透系数为去蜡质处理后叶片的渗透系数的 10 到 1300 倍^[4]。

以往研究多把蜡质含量作为衡量植物抗逆性的一个重要指标,但关于蜡质含量与抗旱性关系的研究还未得出确切的定论。有研究表明水分胁迫会影响植物组织的蜡质含量,从而影响植物组织失水。干旱胁迫下植物的表皮蜡质含量都会增加^[5]。抗旱性强的植物的蜡质含量的增加幅度远高于干旱敏感型植物^[6]。Premachandra 等研究结果显示,植物蜡质含量和其耐旱能力成正比,从其它多种植物中也验证了表皮蜡质含量对植株抗旱性有积极作用^[7-8]。众多的研究表明,蜡质含量与光合速率、蒸腾速率、叶温、叶片水分利用效率和产量呈显著正相关^[9-10]。也有一些学者提出了不同的观点,认为蜡质的含量对限制水分蒸发和水分利用效率影响不大。叶片表皮蜡质含量的增加并不意味着植物蒸腾速率的降低和抗旱性的必然增强^[11-12]。蜡质含量的多少是由遗传差异造成的^[13],受到干旱胁迫后不同植物的表皮蜡质的变化不同。有不少研究进一步证明角质层蜡质成分组成影响植物抗逆性^[14-16]。因此仅凭蜡质含量并不能权衡植物抗旱能力,还需考虑蜡质的晶体及其化学组成等生物化学性质。

虽然蜡质变化在不同年份、不同生长时期和不同生长环境得到的结果不尽相同,但也为小麦不同组织蜡质与抗旱性关系的研究提供了一些重要证据。河南作为我国冬小麦的主产区,针对河南中部地区小麦品种更替过程中蜡质含量的变化更替趋势及对水分利用效率和抗旱性的影响研究还未多见,明确不同年代冬小麦旗叶角质层蜡质含量以及组成成分对抗逆性的影响和代谢调控机制,对通过育种和栽培手段调控角质层蜡质以提高小麦抗旱性和水分利用效率具有重要意义。本文旨在探讨在不同水

分处理下不同年代冬小麦品种旗叶表面蜡质含量与 WUE 及主要生理指标的关系,为小麦抗旱育种提供理论基础,同时也为提高水分利用效率和改良作物抗性提供新的途径。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验于 2010 年 10 月—2011 年 6 月在河南省焦作市广利灌区灌溉试验站(112°55'E, 35°40'N, 海拔 150 m)进行。试验区属温带湿润半湿润季风气候,多年平均气温 14.5℃,多年平均降水量 593.5 mm,6—9 月降水量占全年降水量的 70%以上,多年平均蒸发量 1 774.8 mm(直径为 20 cm 的水面蒸发皿测定值)。2010—2011 年冬小麦生长季 0℃以上积温为 2 642.9℃,日平均气温为 11.8℃,降雨量为 91.7 mm。试验地土壤质地为粉砂质粘土,土质分布均匀,在该地区具有典型代表意义。0~200 cm 土层平均干容重为 1.45 g·cm⁻³,田间持水率 26.00%(质量含水率),饱和含水率为 30.38%(质量含水率),平均地下水埋深 6.4 m。

1.2 试验材料与试验设计

以河南中北部麦区建国以来不同年代具有代表性的 6 个冬小麦品种为供试材料:西农 6028(XN6028):弱冬性,中熟,50 年代在河南种植面积 6.67 万 hm²;丰产 3 号(FC3):弱冬性,中熟,60 年代末期在河南种植面积达 26.67~33.3 万 hm²;矮丰 3 号(AF3):弱冬性,较晚熟,70 年代末期河南省种植面积 24 万 hm²;百农 3217(BN3217):弱冬性,中早熟,80 年代在河南种植最大为 120 万 hm²;豫麦 18(YM18):偏春性,早熟,90 年代在河南省内种植 143.33 万 hm²;郑麦 9023(ZM9023):弱春性,早熟,2002—2003 全国种植面积第一。

试验采用裂区设计,以水分因子为主区,设置 3 个处理:(1)冬小麦返青后不灌水,依靠自然降水生产(W0);(2)越冬后于拔节期灌一水(W1);(3)越冬后于拔节期和灌浆期分别灌一次水(W2);品种为副区,包括 6 个小麦品种,共 18 个处理,每个处理重复 3 次,共计 54 个小区。2011 年 4 月 5 日(拔节期)和 2011 年 5 月 3 日(灌浆期)灌水,灌溉水源为地下水,灌水方式为地面灌溉,灌水定额 60 mm,灌水量用水表计量。各试验小区统一在 2010 年 12 月 15 日进行冬灌,灌水定额均为 70 mm。试验小区 8.0 m ×

2.2 m,畦埂宽 40 cm,高 20 cm,试验小区之间四周埋设深度为 1 m 的油毡及塑料布,用于防止水分侧渗,小区间设有保护行。冬小麦于 2010 年 10 月 11 日播种,播量 $112.5 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,行距 20 cm,2011 年 6 月 10 日收获。播前基施复合肥(N:P:K = 25:8:7) $750 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,拔节期追施尿素 $150 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。灌溉水源为地下水,灌水方式为地面灌溉。各处理施肥、除草、病虫害防治等田间管理措施均与当地的高产田完全一致。

1.3 观测项目与方法

1.3.1 蜡质含量测定^[17] 在灌浆期选择晴天(5月6日)取旗叶鲜样,冷藏带回实验室,叶片用万分之一天平称重后,用镊子塞入对应试管,在 30 ml 氯仿中浸泡 30 秒,把溶液过滤到已知重量的蒸发皿中,再加入 30 ml 氯仿浸泡 30 s 后过滤,在通风柜中使氯仿挥发完后,再次称重,减去蒸发皿重量,即为蜡质含量。以单位鲜叶重计算每克鲜叶重蜡质含量,每处理重复 5 次,取平均值作为该处理的蜡质含量。

1.3.2 叶水势 采用 PMS1000 型压力室(美国)测定冬小麦旗叶的叶水势。观测在黎明前进行,每个处理 3 次重复,取平均值作为该处理的叶水势。

1.3.3 气体交换参数测定 于灌浆期 5 月 6 日上午 10:00—11:00,每个处理选择不背光、展开、长势均匀的旗叶,采用 CIRAS-1 便携式光合系统分析仪(PP Systems, MA, USA)测定叶片中部的光合作用参数(光合速率 P_n 、蒸腾速率 Tr 、胞间 CO_2 浓度 C_i),每个处理测定 3 片叶子,取其平均值作为该处理的气体交换参数值。采用 AP4 动态气孔计(Delta-T Devices Ltd, Cambridge, England)测定叶片的气孔导度,每个处理选取叶片中部正反测定 3 片叶子,取其平均值作为该处理的气孔导度。叶片水分利用效率: $\text{WUE} = P_n / Tr$

1.3.4 籽粒产量和 WUE 成熟时每个处理取三个 1 m^2 样方,脱粒晾晒后称重计产,折算成公顷籽粒产量(籽粒含水量 7.41%)。用水量平衡法计算全生育期耗水量,水分利用效率(WUE) = 籽粒产量/作物全生育期耗水量。

1.4 数据分析

用 Excel 2007 软件进行数据处理,用 DPS12.50 统计分析软件进行方差分析及显著性检验(Duncan 新复极差法)。

2 结果与分析

2.1 不同水分处理下不同年代冬小麦品种旗叶蜡质含量的变化

从表 1 可以看出在冬小麦品种更替过程中,旗

叶表面蜡质含量之间存在差异,总体呈先增加后减少趋势,50—60 年代、70—80 年代、90 年代和 2002 年品种蜡质含量分别为 5.95、6.81、5.67 和 3.64 $\text{mg}/\text{g} \cdot \text{FW}$ 。70—80 年代冬小麦品种旗叶蜡质含量最高,2002 年品种蜡质含量最低。随着灌水的增加,冬小麦各品种的蜡质含量都呈现逐步降低的趋势,在不同水分下表现为 $W_0 > W_1 > W_2$ 。不同品种蜡质含量在不同水分下差异显著($P < 0.05$)。W1 处理下四个时期冬小麦品种蜡质含量比 W0 处理降低 39.4%、35.2%、35.6% 和 0.6%,W2 处理下蜡质含量比 W1 处理降低 36.9%、32.1%、41.8% 和 32.2%,表明在干旱胁迫下冬小麦叶片表皮蜡质含量会增加。

2.2 不同水分处理下不同年代冬小麦品种旗叶蜡质含量与生理指标间的关系

2.2.1 蜡质含量与光合速率(P_n)的关系 随着年代增加,冬小麦旗叶光合速率呈先降低后增加趋势,品种间差异显著。随着灌水的增加,冬小麦旗叶 P_n 表现为 $W_2 > W_1 > W_0$, P_n 依次增加幅度为 22.6% 和 11.5%(表 1)。50—60 年代和 2002 年品种光合速率高于其它年代品种。W0 处理下 70—80 年代品种光合速率表现为降低 4.8%,蜡质含量表现为增加 5.9%,90 年代光合速率和蜡质含量分别降低 5.0% 和 13.9%,2002 年品种光合速率和蜡质含量分别降低 31.1% 和 51.4%。W1 处理下 70—80 年代品种光合速率表现为降低 13.6%,蜡质含量表现为增加 16.5%,90 年代光合速率增加 25.2%,蜡质含量降低 14.4%,2002 年品种光合速率增加 2.5%,蜡质含量则降低 32.3%。W2 处理下光合速率和蜡质含量变化趋势与 W0 相同。由表 2 可以看出蜡质含量与光合速率呈显著负相关关系,表明叶片表面蜡质覆盖较多,会不利于叶片正常的光合作用。

2.2.2 蜡质含量与蒸腾速率(Tr)的关系 由表 1 可以得知,随着品种更替,蒸腾速率并没有表现出年代变化规律。随着灌水的增加,冬小麦旗叶 Tr 表现为 $W_2 > W_1 > W_0$, Tr 依次增加幅度为 22.4% 和 10.5%(表 1)。在 W0、W1 和 W2 处理下,70—80 年代品种蒸腾速率比 50—60 年代分别增加 30.5%、0.3% 和 3.2%,蜡质含量也表现为增加。W0 处理的 90 年代品种和 W2 处理的 2002 品种蒸腾速率表现为降低,蜡质含量也表现为降低。其它年代品种蒸腾速率变化和蜡质含量变化并不同步。表 2 显示蜡质含量与蒸腾速率呈显著负相关关系。表明在干旱胁迫下,叶片表面蜡质含量增加有助于降低叶面蒸腾。

表 1 不同水分处理对不同年代冬小麦品种旗叶蜡质含量和生理指标的影响

Table 1 Effect of different water treatments on wax content and physiological indexes of winter wheat cultivars of different eras

年代 Eras	品种 Cultivars	处理 Treatments	蜡质含量 Wax content /(mg·g ⁻¹ FW)	光合速率 <i>Pn</i> /($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	蒸腾速率 <i>Tr</i> /($\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	胞间 CO ₂ 浓度 <i>Ci</i> /($\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$)	气孔导度 <i>Gs</i> /($\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	叶水势 ψ /MPa	叶温 <i>LT</i> /°C
50—60 年代 1950s— 1960s	西农 6028 XN6028	W0	6.76aB	15.4bBC	2.5bB	188bC	0.701aBC	-3.7bA	23.97aA
		W1	3.65bB	17.5bC	3.1aB	233aAB	0.740aBC	-4.0bA	22.70bB
		W2	3.10bB	24.2aABC	3.6aB	201bC	0.850aA	-2.2aA	22.97bA
	丰产 3 号 FC3	W0	11.20aA	19.6bAB	2.5bB	226aB	0.803bAB	-3.2bA	22.40aB
		W1	7.23bA	25.1aA	3.7aA	185bC	0.989aA	-2.8abA	22.30aB
		W2	3.77cAB	27.0aA	4.0aAB	244aAB	0.931abA	-1.7aA	20.30bC
70—80 年代 1970s— 1980s	矮丰 3 号 AF3	W0	7.25aB	22.1abA	3.8abA	195aBC	0.571cCD	-3.3aA	24.13aA
		W1	4.41bB	19.2bBC	3.3bAB	214aBC	0.810bB	-3.0aA	23.57abA
		W2	5.02bA	25.7aAB	4.2aA	218aBC	0.994aA	-2.2aA	22.97bA
	百农 3217 BN3217	W0	12.32aA	11.3bC	2.8bB	268aA	0.521bD	-3.3aA	24.03aA
		W1	8.27bA	17.6aC	3.5aAB	261aA	0.566bD	-3.7aA	22.43bB
		W2	3.59cAB	20.5aC	3.6aAB	268aA	0.931aA	-2.5aA	20.90cC
90 年代 1990s	豫麦 18 YM18	W0	8.42aB	15.9bB	2.4bB	216bBC	0.524bD	-3.5bA	23.73aA
		W1	5.43bB	23.0aAB	3.6aAB	263aA	0.636bCD	-2.8abA	22.67bB
		W2	3.16cB	21.9aBC	4.0aAB	262aA	0.956aA	-2.0aA	21.8cB
2002 年	郑麦 9023 ZM9023	W0	4.10aC	20.8aA	3.4aA	259aA	0.953abA	-3.2aA	22.17abB
		W1	4.07aB	23.6aAB	3.7aAB	236abAB	1.081aA	-2.8abA	21.57bC
		W2	2.76aB	24.7aABC	3.9aAB	222bBC	0.820bA	-2.2aA	22.40aAB

注:W0 表示不灌水, W1 表示拔节期灌水, W2 表示拔节和灌浆期灌水;小写字母表示同一品种不同水分下差异达 5% 显著水平;大写字母表示不同品种在同一水分处理下差异达 5% 显著水平。

Note: W0 – noirrigation, W1 – irrigation at jointing stage, W2 – irrigation at jointing and milky stage. Different normal letters indicate significant different of water treatment in same wheat ($P < 0.05$); Different capital letters indicate significant different of wheat cultivars under same water treatment ($P < 0.05$).

2.2.3 蜡质含量与胞间二氧化碳浓度 (*C_i*) 的关系

随着年代增加,冬小麦品种胞间二氧化碳浓度总体表现为先增加后降低趋势。随着灌水增加,除 2002 年品种表现为随灌水增加 *C_i* 降低外,其余年代品种 *C_i* 表现为 W2 > W1 > W0, *C_i* 依次增加幅度为 8.6% 和 2.9% (表 1)。W0、W1 和 W2 处理下 70—80 年代品种 *C_i* 比 50—60 年代增加 11.9%、13.9% 和 9.4%,蜡质含量也表现为增加趋势。W0 处理下 90 年代和 W1、W2 处理下 2002 品种 *C_i* 降低,蜡质含量变化趋势相同。表 2 显示蜡质含量与 *C_i* 无显著相关关系,表明蜡质含量变化对胞间二氧化碳浓度变化无明显影响。表明早期品种在水肥不足条件下,蜡质含量或成分变化可能会在一定程度上影响 *C_i*。

2.2.4 蜡质含量与气孔导度 (*G_s*) 的关系

从表 1 可以看出,在 W0 和 W1 处理下,随着年代增加,冬小麦旗叶气孔导度表现为先降低后增加趋势, W2 处理下则表现为先增加后降低趋势。随着灌水的增加 *G_s* 表现为 W2 > W1 > W0, *G_s* 依次增加幅度为

18.9% 和 17.3% (表 1)。在 W0 和 W1 处理下 70—80 年代品种 *G_s* 比 50—60 年代品种降低 27.4% 和 20.4%,蜡质含量则表现为增加,2002 年品种 *G_s* 比 90 品种增加 82% 和 70%,蜡质含量表现为降低。90 年代 *G_s* 比 70—80 年代分别降低 4.1% 和 7.6%,蜡质含量也表现为降低。W2 下各时期品种 *G_s* 与蜡质含量变化趋势相同。表 2 显示蜡质含量和 *G_s* 呈不显著相关关系。表明叶片气孔导度的降低可能并不是通过蜡质含量增加来影响气孔开闭所致。

2.2.5 蜡质含量与叶水势 (ψ) 的关系

随着年代增加,冬小麦品种叶水势总体没有表现出随年代变化趋势,50—60 年代品种的叶水势为 -1.92 ~ -3.45 MPa,2002 品种为 -2.17 ~ -3.17 MPa,品种间无显著差异。随着灌水增加,叶水势增加表现为 W2 > W1 > W0,叶水势依次增加幅度为 7.6% 和 31.7% (表 1)。W0 下 90 年代品种、W1 和 W2 处理下 70—80 年代品种叶水势表现增加,与蜡质含量变化相异。由表 2 可知蜡质含量和叶水势呈极显著负相关关系,表明植物可能通过增加蜡质在叶表沉积

来减少水分散失。

2.2.6 蜡质含量与叶片温度(LT)的关系 随着年代增加,在 W0 和 W1 处理下,冬小麦品种叶片温度呈先增加后降低趋势,在 W2 处理下表现为先增加后降低再增加趋势。随着灌水增加,叶温表现为 W0 > W1 > W2,叶温依次降低幅度为 3.7% 和 2.1%

(表 1)。在 W0 和 W1 处理下,叶片温度变化趋势与蜡质含量变化趋势相同,即冬小麦品种叶片温度高,蜡质含量也高。在 W2 处理下 2002 品种叶温增加,而蜡质含量降低。表 2 显示叶片温度与蜡质含量呈极显著正相关(表 2)。表明蜡质含量的增加可能会提高光辐射反射而引起叶温升高。

表 2 蜡质含量与气体交换参数、籽粒产量和 WUE 之间的相关性

Table 2 Correlation coefficient among wax content and gas exchange parameters, grain yield and WUE

项目 Item	WAX /(mg·g ⁻¹)	<i>Pn</i> /($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	<i>Tr</i> /($\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	<i>Ci</i> /($\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$)	<i>Gs</i> /($\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	ψ /MPa	<i>T</i> /°C	<i>Y</i> /(kg·hm ⁻²)	WUE(L) ($\mu\text{mol}\cdot\text{mmol}^{-1}$)
WAX									
<i>Pn</i>	-0.523**								
<i>Tr</i>	-0.541**	0.700**							
<i>Ci</i>	-0.053	-0.192	0.237						
<i>Gs</i>	-0.131	0.007	-0.093	-0.013					
ψ	-0.429**	0.570**	0.455**	0.069	0.008				
<i>T</i>	0.429**	-0.506**	-0.466**	-0.402**	-0.210	-0.403**			
<i>Y</i>	-0.488**	0.547**	0.590**	0.195	0.204	0.555**	-0.492**		
WUE(L)	-0.096	0.564**	-0.184	-0.522**	0.108	0.248	-0.196	0.088	
WUE(Y)	-0.065	0.194	0.224	0.239	0.190	0.291*	-0.293*	0.794**	0.031

注:*,** 分别代表 $P < 0.05$ 和 $P < 0.01$ 。Note: *,** represent respectively $P < 0.05$ and $P < 0.01$ 。

2.3 蜡质含量与水分利用效率(WUE)和产量(Y)的关系

随着品种更替,不同水分下冬小麦品种籽粒产量呈增加趋势,增加幅度为 1.6% ~ 66.5% (图 2),随着灌水增加,冬小麦品种产量增加,W1 处理下产量比 W0 下增加 33.1%,W2 处理下产量比 W1 增加 14.1%。在 W0、W1 和 W2 处理下,70—80 年代籽粒产量比 50—60 年代分别增加 10.3%、4.7% 和 3.5%,同时蜡质含量也表现为增加。其余年代冬小麦品种产量依次增加,蜡质含量表现为降低。表 2 显示叶片蜡质含量与产量呈极显著负相关关系,70—80 年代品种旗叶蜡质含量和籽粒产量比 50—60 年代品种高,可能是品种更替过程中自身对环境适应调节的一个特征变化。

从图 3 可以看出,在 W0 和 W1 处理下,随着年代增加,叶片 WUE 呈先降低后增加再降低波浪变化趋势。随着灌水增加,叶片 WUE 变化表现不同,W1 处理下 50—60 年代和 90 年代品种叶片 WUE 表现为降低,降低幅度为 10.7% 和 2.9%。W2 处理下 90 年代和 2002 品种叶片 WUE 表现为降低,幅度为 13.6% 和 1.3%。三种水分处理下叶片 WUE 与蜡质含量变化并未表现出相同趋势。产量水平的 WUE 随着年代增加总体表现为先降低后增加趋势,不同

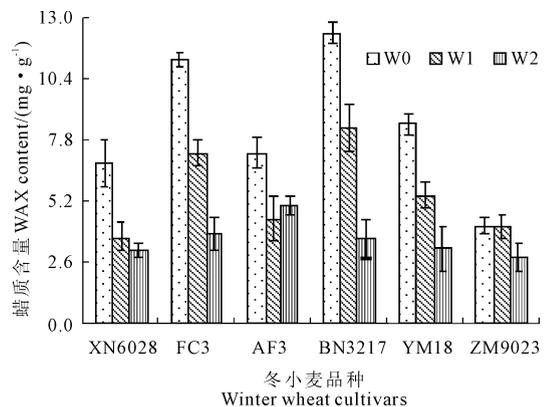


图 1 不同水分处理对冬小麦品种蜡质含量的影响

Fig.1 Effect of different water treatments on wax content of winter wheat cultivars

水分下 WUE 变化不同(图 4)。在 W0 处理下,70—80 年代比 50—60 年代品种 WUE 增加 9.3%,90 年代比 70—80 年代降低 29.8%,蜡质含量变化趋势相同。在 W2 处理下 70—80 年代比 50—60 年代品种 WUE 增加 3.9%,2002 品种比 90 品种降低 10.4%,蜡质含量变化趋势相同。表 2 显示蜡质含量与叶片 WUE 和产量水平的 WUE 呈不显著负相关关系,表明在叶片蜡质含量变化与 WUE 变化并无直接联系,可能是影响 WUE 变化的间接因素。

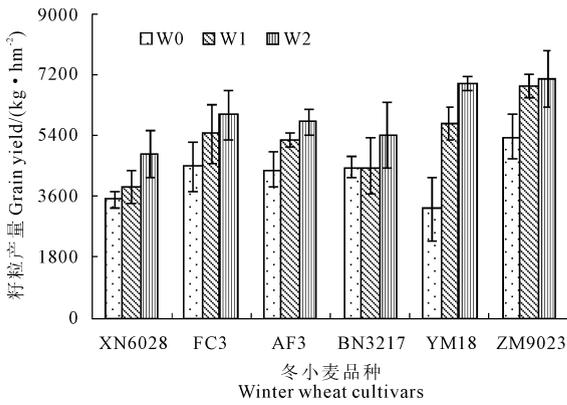


图 2 不同水分处理对冬小麦品种籽粒产量的影响

Fig.2 Effect of different water treatments on grain yield of winter wheat cultivars

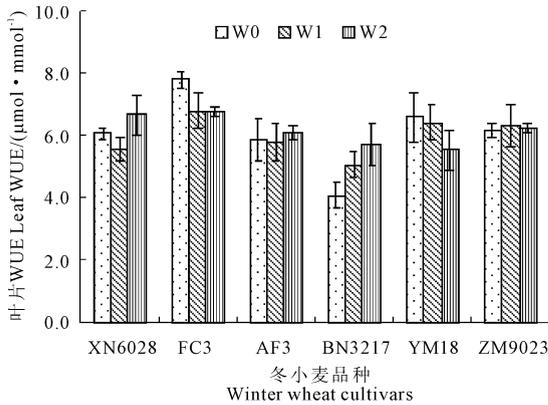


图 3 不同水分处理对冬小麦品种叶片 WUE 的影响

Fig.3 Effect of different water treatments on leaf WUE of winter wheat cultivars

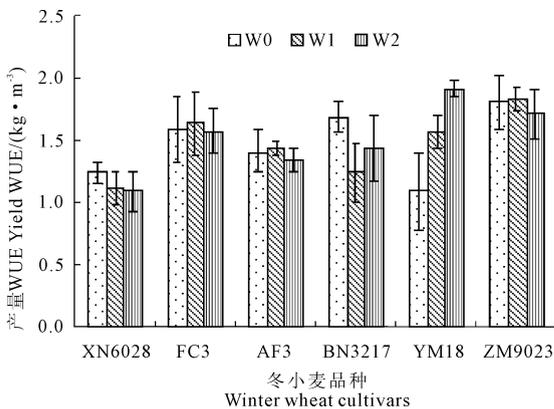


图 4 不同水分处理对冬小麦品种产量 WUE 的影响

Fig.4 Effect of different water treatments on yield WUE of winter wheat cultivars

3 结论与讨论

1)冬小麦旗叶蜡质含量变化由品种遗传特性和生态环境决定,在同一作物或作物的不同组织内,在

不同地域、年份、灌水和施肥等条件下测得的结果不尽一致。蜡质含量的变化可以在一定范围内表示干旱胁迫程度,其胁迫阈值范围需要根据不同作物品种,不同水分条件,不同生长环境长期试验来确定。

2)冬小麦旗叶表面蜡质含量与叶片的光合速率、蒸腾速率、叶水势极显著负相关,与叶片温度呈极显著正相关关系。冬小麦叶片表面气孔蜡质覆盖较多,使气体交换受到影响,CO₂ 同化作用降低,阻碍水分从气孔散失,使得光合速率和蒸腾速率降低。同时叶片温度升高到一定范围,蜡质含量增加有助于减少水分散失,这与黄玲等的研究结果部分相似^[9,18-19]。蜡质含量与气孔导度无显著相关关系,表明蜡质降低蒸腾可能是通过提高光辐射反射率来降低蒸腾,而不是通过对气孔导度调节来减少蒸腾。

3)蜡质含量和产量呈极显著负相关关系,在拔节和灌浆期灌水处理下蜡质含量最低,籽粒产量最高,这点研究结果与王振华不同^[20]。WUE 的增加与蜡质含量降低并无直接联系,WUE 产生差异的原因可能是灌溉增加土壤水分含量到一定程度时,光合速率不再增加,而蒸腾速率持续增长必然导致作物耗水过多,所以作物蒸腾也存在无效水分的消耗。

4)随着年代增加,冬小麦品种更替过程中蜡质含量先增加后降低,光合速率、蒸腾速率、气孔导度和叶水势表现为增加趋势,叶片温度表现为降低。冬小麦品种产量和 WUE 也表现为增加趋势,70-80 年代品种蜡质含量最高,光合速率和蒸腾速率等生理指标未表现出最低值,2002 年品种的蜡质含量最低,光合速率、蒸腾速率等生理指标相对较高。早期品种在生态环境并不理想的状态下,通过自身调节以适应逆境胁迫,蜡质含量较高可能是作物适应干旱胁迫自我调节的一个特征。在现有栽培条件下,早期品种产量和 WUE 增加幅度较大,现代品种光合、蒸腾速率等生理指标逐步优化,蜡质含量表现为降低,籽粒产量和 WUE 增加。

参考文献:

- [1] 倪郁,郭彦军.植物超长链脂肪酸及角质层蜡质生物合成相关酶基因研究现状[J].遗传,2008,30(5):561-567.
- [2] Reinhard Jetter, Stefanie Schaffer. Reinhard composition of the *Prunus laurocerasus* leaf surface. Dynamic change of the epicuticular wax film during leaf development[J]. Plant Physiol, 2001, 126: 1725-1737.
- [3] Johnson D A, Richards R A, Turner N C. Yield, water relations, gas exchange, and surface reflectances of neariso genic wheat lines differing in glaucousness[J]. Crop Sci, 1983, 23: 318-325.
- [4] Hamilton R J. Waxes: Chemistry, Molecular Biology and Functions [M]. Dundee: The Oily Press, 1995.

- [5] González A, Ayerbe L. Effect of terminal water stress on leaf epicuticular wax load, residual transpiration and grain yield in barley[J]. *Euphytica*, 2010, 172(3): 341-349.
- [6] 郭彦军,倪郁,郭芸江,等. 水热胁迫对紫花苜蓿叶表皮蜡质组分及生理指标的影响[J]. *作物学报*, 2011, 37(5): 911-917.
- [7] Premachandra G S, Saneoka H, Kanaya M, et al. Cell membrane stability and leaf surface wax contents as affected by increasing water deficits in Maize[J]. *Journal of Experimental Botany*, 1991, 42(2): 167-171.
- [8] Jetter R, Schaffer S. Chemical composition of the *Prunus laurocerasus* leaf surface. Dynamic changes of the epicuticular wax film during leaf development[J]. *Plant Physiology*, 2001, 126(3): 1725-1737.
- [9] 黄玲,张正斌,崔玉亭,等. 小麦叶片蜡质含量与水分利用效率和产量的关系[J]. *麦类作物学报*, 2003, 23(3): 41-44.
- [10] 张正斌,山仑. 小麦抗旱生理指标与叶片卷曲度和蜡质关系研究[J]. *作物学报*, 1998, 24(5): 608-612.
- [11] Ristic Z, Jenks M A. Leaf cuticle and water loss in maize lines differing in dehydration avoidance[J]. *Plant Physiol*, 2002, 159: 645-651.
- [12] Goodwin S M, Jenks M A. Plant cuticle function as a barrier to water loss[C]//Jenks M A, Hasegawa P M. *Plant Abiotic Stress*. Oxford: Blackwell, 2005.
- [13] Vogg G, Fischer S, Leide J, et al. Tomato fruit cuticular waxes and the effect on transpiration barrier properties: functional characterization of a mutant deficient in a very-long-chain fatty acid β -ketoacyl-CoA synthase[J]. *J Exp Bot*, 2004, 401: 1401-1410.
- [14] Kim K S, Park S H, Jenks M A. Changes in leaf cuticular waxes of sesame (*Sesamum indicum* L.) plants exposed to water deficit[J]. *Journal of Plant Physiology*, 2007, 164: 1134-1143.
- [15] Seo P J, Lee S B, Suh M C, et al. The MYB96 transcription factor regulates cuticular wax biosynthesis under drought conditions in *Arabidopsis*[J]. *Plant Cell*, 2011, 23(3): 1138-1152.
- [16] Leide J, Hildebrandt U, Vogg G, et al. The positionalsterile (ps) mutation affects cuticular transpiration and wax biosynthesis of tomato fruits[J]. *J Plant Physiol*, 2011, 168(9): 871-877.
- [17] 颜世文,倪宏伟,冷艳华. 不同抗感灰斑病品种叶片蜡质含量、叶比重的比较研究[J]. *种子世界*, 2001, (2): 24-25.
- [18] 郭彦军,倪郁,郭芸江,等. 空气湿度与土壤水分胁迫对紫花苜蓿叶表皮蜡质特性的影响[J]. *生态学报*, 2011, 31(18): 5273-5280.
- [19] 张海禄,齐军仓,王祥军. 干旱胁迫对大麦叶片表皮蜡质含量及主要生理指标的影响[J]. *麦类作物学报*, 2012, 32(2): 280-283.
- [20] 王振华,张喜英,陈素英,等. 不同年代冬小麦品种产量性状和生理生态指标差异分析[J]. *中国生态农业学报*, 2007, 15(3): 75-79.

(上接第 199 页)

4 结 论

1) 艾比湖流域风沙土全盐含量呈现表层富集现象,其中 Cl^- 和 SO_4^{2-} 含量高于其它水溶性离子含量;

2) 相关性分析结果显示:总盐含量与 Cl^- 、 K^+ + Na^+ 及 SO_4^{2-} 含量具有强相关性;总盐含量与 HCO_3^- 的相关性最弱;

3) 主成分分析结果表明: Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 K^+ + Na^+ 是研究区盐渍化状况的特征因子。

4) 研究区风沙土盐渍化类型以氯化物-硫酸盐型和硫酸盐型为主。

参 考 文 献:

- [1] 吉力力·阿不都外力,徐俊荣,穆桂金,等. 艾比湖盐尘对周边地区土壤盐分及景观变化的影响[J]. *冰川冻土*, 2007, 29(6): 928-939.
- [2] 关元秀,刘高焕. 区域土壤盐渍化遥感监测研究综述[J]. *遥感技术与应用*, 2001, 16(1): 40-44.
- [3] 石玉林. 西北地区土地荒漠化与水资源利用研究[M]. 北京: 科学出版社, 2004: 335.
- [4] 毋兆鹏. 博尔塔拉河、精河流域绿洲土壤异质性及其驱动力研究[J]. *土壤通报*, 2010, 41(1): 81-86.
- [5] 古丽格娜·哈力木拉提,木合塔尔·吐尔洪,于坤,等. 喀什葛尔河流域盐渍化土壤盐分特征分析[J]. *干旱区资源与环境*, 2012, 26(1): 169-173.
- [6] 古丽娜尔·托合提,海米提·依米提,米日姑·买买提,等. 伊犁河谷土壤含盐量空间变异和格局分析[J]. *干旱地区农业研究*, 2011, 29(2): 154-158.
- [7] 夏军,王绍明,朱宏伟,等. 玛纳斯河流域中下游土壤盐分空间变异性研究[J]. *新疆农业科学*, 2012, 49(3): 542-548.
- [8] 阿布都热合曼·哈力克. 新疆岳普湖县土壤盐分空间变异及其分布特征研究[J]. *水土保持研究*, 2012, 18(1): 97-100.
- [9] 祖皮艳木·买买提,海米提·依米提,麦麦提吐尔逊·艾则孜. 伊犁河谷地下水及土壤盐分分布特征[J]. *干旱地区农业研究*, 2011, 29(1): 58-63.
- [10] 赵枫,金海龙. 新疆阿其克苏河沿岸土壤盐分与离子含量关系研究[J]. *干旱区资源与环境*, 2011, 25(6): 109-112.
- [11] 徐欢欢,曾从盛,王维奇,等. 艾比湖湿地土壤有机碳垂直分布特征及其影响因子分析[J]. *福建师范大学学报*, 2010, 26(5): 86-91.
- [12] 毛任钊,田魁祥,松本聪,等. 盐渍土盐分指标及其与化学组成的关系[J]. *土壤*, 1997, 29(6): 326-331.
- [13] 王玉刚,肖笃宁,李彦. 流域尺度绿洲土壤盐分的空间异质性[J]. *生态学报*, 2007, 27(12): 5262-5270.
- [14] 周在明,张光辉,王金哲,等. 环渤海微咸水区土壤盐分及盐渍化程度的空间格局[J]. *农业工程学报*, 2010, 26(10): 15-20.
- [15] 李朝生,杨晓晖,于春堂,等. 库布齐沙漠自然植被与人工植被土壤水盐空间异质性比较研究[J]. *生态环境学报*, 2010, 19(18): 2072-2078.