

花后干旱对春小麦籽粒淀粉含量及淀粉形成 关键酶活性的影响

赵晶晶,姚 珊,李 昱,康建宏,吴宏亮,许 强
(宁夏大学农学院,宁夏 银川 750021)

摘 要: 为了研究花后干旱对春小麦籽粒淀粉形成影响的机理,缓减春小麦花后干旱危害,以宁夏春小麦宁春 4 号和宁春 47 号为供试材料,在盆栽条件下,人工模拟花后干旱,测定了春小麦籽粒淀粉含量及淀粉形成关键酶活性。结果表明:花后干旱胁迫显著降低春小麦籽粒淀粉含量,使宁春 4 号和宁春 47 号的直链淀粉下降 9.78% ~ 30.07%,支链淀粉下降 9.02% ~ 19.92%,淀粉总含量下降 9.25% ~ 22.82%;干旱使两品种的淀粉形成关键酶(ADPG-PPase、UDPG-PPase、SSS 和 SBE)活性下降,从而对淀粉品质产生影响。因此,应采取相应栽培技术缓解花后干旱危害,提高春小麦产量和品质。

关键词: 春小麦;花后干旱;淀粉含量;淀粉形成关键酶活性;淀粉品质

中图分类号: S512.1⁺2; S503.4 **文献标志码:** A

Effects of drought on the starch contents and activities of key enzymes after anthesis in spring wheat grains

ZHAO Jing-jing, YAO Shan, LI Yu, KANG Jian-hong, XU Qiang
(College of Agronomy, Ningxia University, Yinchuan, Ningxia 750021, China)

Abstract: To study the effects of drought on grain starch contents and activities of related key enzymes and minimize damages caused by drought after anthesis in spring wheat, two spring wheat cultivars, Ningchun 4 and Ningchun 47, were used in a pot experiment by manipulating the post-anthesis soil moisture. The results showed that the starch contents of Ningchun 4 and Ningchun 47 became decreased significantly under drought stress after anthesis. The amylase, amylopectin, and total starch contents were decreased by 9.78% ~ 30.07%, 9.02% ~ 19.92% and 9.25% ~ 22.82%, respectively. The activities of ADPG-PPase, UDPG-PPase, SSS, SBE and the quality of spring wheat grains were also decreased. Therefore, implementation of proper cultivation techniques remitting damages from drought after anthesis could improve the yield and the quality of spring wheat.

Keywords: spring wheat; drought after anthesis; starch content; activities of key enzymes; starch quality

春小麦是宁夏平原的主要作物之一,单产为 5 000 ~ 7 000 kg·hm⁻²。近年来,气候变暖引起高温干旱等灾害频发,导致春小麦种植面积减少、产量明显下降,严重影响了春小麦生产安全,危及国家粮食安全^[1]。而淀粉是小麦籽粒的主要成分,对面粉品质性状有较大的影响,干旱胁迫会影响小麦籽粒淀粉含量的积累及淀粉合成关键酶的形成,导致其品质下降。一般认为,在参与淀粉合成的主要酶中,腺苷二磷酸葡萄糖焦磷酸化酶(ADPG-PPase)和尿苷二磷酸葡萄糖(UDPG-PPase)控制淀粉合成速率,而可溶性淀粉合成酶(SSS)和淀粉分支酶(SBE)共同影响淀粉颗粒的结构和特性(包括直链淀粉和支链淀粉的比例)^[2],是水稻、小麦等淀粉合成的关键酶。前人对小麦籽粒淀粉形成及其组分有较多研究,有研究表明重度干旱胁迫降低了籽粒中总淀粉、直链淀粉和支链淀粉含量,也降低了直/支比^[3],显著提高籽粒面筋含量、蛋白质及蛋白谷/醇比,多数品质性状以花后土壤水分相对含量的 55% 时最优^[4]。干旱胁迫导致籽粒中糖和淀粉含量显著下降,但不同酶对水分胁迫强度的反应不同,SSS 对水

收稿日期:2014-05-08
基金项目:国家自然科学基金(31160255)
作者简介:赵晶晶(1990—),女,宁夏永宁人,硕士研究生,主要从事作物栽培生理研究。E-mail:519975802@qq.com。
通信作者:通信作者:康建宏(1968—),男,硕士,宁夏青铜峡人,教授,主要从事作物高产生理栽培的研究。E-mail:kangjianhong@163.com。

分胁迫反应早且敏感,但在严重胁迫下 ADPG - PPase 是引起籽粒生长停止的主要原因^[3-5]。前人的研究多以冬小麦为主,以春小麦为材料研究较少。因此,深入研究花后干旱对春小麦籽粒淀粉含量及淀粉形成关键酶活性的影响机理,可为春小麦优质、高效、抗逆栽培及品质育种提供理论依据,对实现宁夏平原春小麦优质、高效生产具有重大意义。本试验以宁夏春小麦宁春4号和宁春47号为供试材料,采用称重法控制土壤田间含水量模拟干旱,研究花后干旱对宁春4号、宁春47号两个春小麦品种淀粉形成的影响,以期为缓减春小麦干旱胁迫影响,实现优质高效栽培提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验于2013年在宁夏大学实验基地采用盆栽的方式进行,盆钵直径30 cm,高27 cm。盆栽用土取自大田0~30 cm的耕层,经测定,土壤有机质含量为12.5 g·kg⁻¹,碱解氮73.3 mg·kg⁻¹,速效磷29.1 mg·kg⁻¹,速效钾65.9 mg·kg⁻¹,pH为7.94,田间持水量为25.91%。每盆装过筛干土11.25 kg。2个供试品种(系)分别选用宁夏主栽春小麦品种宁春4号和宁春47号,于3月20日播种,三叶期定苗,每盆留苗20株,干旱处理采用称重法控制土壤含水量。

采用随机区组设计,三次重复,设W1土壤含水量为田间持水量的40±2%(重度干旱)、W2为55±2%(轻度干旱)、W3为70±2%(对照)共3个干旱处理,前期于自然条件下生长,在花后20~22 d进行土壤干旱处理,大气相对湿度保持在50%,处理结束后转入自然条件下生长至成熟。其它条件同大田生产。

1.2 测定项目及方法

开花盛期,标记生长一致且同日开花的麦穗,花后第20 d开始取样,每隔5 d取样一次,每处理10穗,剥取籽粒置烘箱中,105℃杀青30 min,80℃烘干至恒重,称重后保存用以测定淀粉组分。并取5穗籽粒,经液氮速冻后低温保存,用以测定淀粉相关酶活性。依据下列方法分别测定淀粉含量及淀粉形成关键酶活性。

1.2.1 淀粉含量测定 采用双波长法测定小麦籽粒中直链淀粉、支链淀粉和总淀粉含量^[6]。样品粉碎过60目筛,用乙醚脱脂,称取脱脂样品0.1 g左右(精确至1 mg),加0.5 mol·L⁻¹KOH溶液10 mL,在沸水浴中浸提10 min,用蒸馏水定容至50 mL,静置。吸取样品液2.5 mL两份(即样品测定液和空白液),

均加蒸馏水30 mL,以0.1 mol·L⁻¹HCl溶液调至pH 3.5左右,样品中加入碘试剂0.5 mL,空白液不加碘试剂,然后均定容至50 mL。静置20 min,以样品空白液为对照,用1 cm比色杯分别测定波长为530 nm、495 nm、654 nm和565 nm的吸收值,得到△A(直)=A₄₉₅-A₅₃₀,△A(支)=A₅₆₅-A₆₅₄。分别查两类淀粉的双波长标准曲线,计算出脱脂样品中直链淀粉和支链淀粉含量,二者之和等于总淀粉含量。

1.2.2 淀粉形成关键酶活性测定 SBE参照李太贵等^[7]的方法。取籽粒10粒,用0.05 mol·L⁻¹柠檬酸缓冲液(pH=7.0)在冰浴中快速研磨成匀浆,然后在10 000×g下离心20 min,上清液即为粗酶液。测定时取1 mL粗酶液,加0.2 mol·L⁻¹柠檬酸缓冲液1 mL(pH7.0),0.1 mol·L⁻¹EDTA 0.5 mL,0.75%可溶性淀粉0.5 mL,在37℃水浴中加热40 min,再加10% TCA 4 mL终止反应。以碘液显色10 min后在660 nm处测光密度值,以不水浴加热者为对照。Q酶活性以OD₆₆₀下降的百分率表示,△OD₆₆₀=(OD_{660CK}-OD_{660t时})/OD_{660CK}×100%。

ADPG、UDPG、SSS参照程方民等^[8]的方法。取20个籽粒,加4 mL提取液[含100 mmol·L⁻¹Tricine-NaOH(pH=7.5),8 mmol·L⁻¹MgCl₂,2 mmol·L⁻¹EDTA,12.5%(V/V)甘油,1%(W/V)PVP-40,50 mmol·L⁻¹α-巯基乙醇],磨成匀浆,在10 000×g,离心30 min,然后收集上清液置于冰浴,作为粗酶液备用。

ADPG/UDPG活性测定:取20 μL酶粗提液加入110 μL反应液I[反应液最终浓度是100 mmol·L⁻¹Hepes-NaOH(pH=7.4)、1.2 mmol·L⁻¹ADPG,3 mmol·L⁻¹PPi,5 mmol·L⁻¹MgCl₂,4 mmol·L⁻¹DTT],30℃反应20 min后,沸水中终止反应30 s,10 000×g,10 min;取上清液100 μL加5.2 μL比色液(5.76 mmol·L⁻¹NADP,0.08 unit P-gucomutase 磷酸葡萄糖变位酶,0.07 unit G6P脱氢酶)。30℃反应10 min后,测定340 nm OD值。根据OD值的增加量计算ADPG/UDPG焦磷酸化酶的活力,单位为mmol·1000seeds⁻¹·min⁻¹,以20 μL煮沸的粗酶液作为对照。

SSS活性的测定:取20 μL酶粗提液加入36 μL反应液I[反应液最终浓度为50 mmol·L⁻¹Hepes-NaOH(pH=7.4)、1.6 mmol·L⁻¹ADPG,0.7 mg支链淀粉、15 mmol·L⁻¹DTT],30℃反应20 min后,沸水中终止反应30 s,冰浴中冷却;加20 μL反应液II[含50 mmol·L⁻¹Hepes-NaOH(pH=7.4),4 mmol·L⁻¹PEP,200 mmol·L⁻¹KCL,10 mmol·L⁻¹MgCl₂,1.2

unit 丙酮酸激酶], 30℃ 反应 20 min 后, 沸水中终止反应 30 s, 10 000 × g 离心 10 min。取上清液 60 μL 与 43 μL 反应液Ⅲ [50 mmol·L⁻¹ Hepes-NaOH (pH = 7.4), 10 mmol·L⁻¹ 葡萄糖、20 mg MgCl₂, 2 mmol·L⁻¹ NADP, 1.4 unit 己糖激酶、0.35 unit G6P 脱氢酶], 30℃ 反应 10 min 后, 测定 340 nm OD 值的变化, 单位为 mmol·1000seeds⁻¹·min⁻¹, 以 20 μL 煮沸的粗酶液作为对照。

2 结果分析

2.1 花后干旱对春小麦籽粒淀粉含量的影响

开花后 20 d 对两个春小麦品种宁春 4 号和宁春 47 号进行干旱处理, 结果表明, 以 W3 (土壤含水量为田间含水量的 70%) 为对照, 土壤含水量为 W3 时淀粉含量最高, 重度干旱 (W1) 时最低。重度干旱 (W1) 和轻度干旱 (W2) 条件下的直链淀粉、支链淀粉和总淀粉含量与 W3 相比均显著降低, 直/支值降低但无显著差异。

由图 1 可见, 宁春 4 号在轻度干旱 (W2) 下, 花后 20 d 直链淀粉含量下降最明显, 下降了 19.9%; 花后 25 d 支链淀粉下降最明显, 下降了 17.32%; 花后 20 d 总淀粉含量下降最明显, 下降了 14.95%。在重度干旱 (W1) 下, 宁春 4 号在收获后直链淀粉含量下降最明显, 下降了 38.57%; 花后 25 d 支链淀粉含量下降最明显, 下降了 31.89%; 花后 25 d 总淀粉含量下降最明显, 下降了 30.49%。方差分析表明, 重度干旱 (W1) 的直链淀粉含量、支链淀粉含量及总淀粉含量与轻度干旱 (W2) 和 W3 均呈显著差异。宁春 47 号也表现出与宁春 4 号相类似的规律, 但品种间有差异。在轻度干旱 (W2) 下, 宁春 47 号直链淀粉含量的下降幅度为 1.27% ~ 14.04%; 支链淀粉含量下降幅度为 5.11% ~ 17.56%; 总淀粉含量下降幅度为 7.73% ~ 13.18%。在重度干旱 (W1) 下, 宁春 47 号直链淀粉含量的下降幅度为 17.83% ~ 43.50%; 支链淀粉含量下降幅度为 18.92% ~ 48.06%; 总淀粉含量下降幅度为 15.91% ~ 32.46%。经方差分析得, W1 的直链淀粉含量、支链淀粉含量及总淀粉含量与 W2 和 W3 均呈显著差异。W2 的直链淀粉含量、支链淀粉含量及总淀粉含量与 W3 呈显著差异。

由此说明, 重度干旱胁迫对春小麦籽粒淀粉含量影响较大, 且干旱胁迫越早, 淀粉含量下降越多, 宁春 47 号较宁春 4 号下降幅度大。因此, 花后水分胁迫显著降低了籽粒淀粉含量, 使淀粉的直/支值降低, 最终降低了春小麦的产量, 影响了春小麦的品质。

2.2 花后干旱对春小麦籽粒淀粉形成关键酶的影响

2.2.1 花后干旱对籽粒 ADPG - PPase 活性的影响

开花后 20 d 对两个春小麦品种进行干旱处理, 结果表明, ADPG - PPase 活性呈现先上升后下降的趋势。土壤含水量为 W3 时 ADPG - PPase 活性最高, 重度干旱 (W1) 时最低。由图 2 可见, 宁春 4 号经过干旱处理后, ADPG - PPase 活性在花后 25 ~ 30 d 达到一个最高值, ADPG - PPase 活性 W3 > W2 > W1; 轻度干旱 (W2) 下, ADPG - PPase 活性下降幅度为 7.73% ~ 50.91%; 重度干旱 (W1) 下, 下降幅度为 40.72% ~ 64.06%。经方差分析得, W1 的 ADPG - PPase 活性与 W2、W3 呈显著差异; W2 的 ADPG - PPase 活性与 W3 呈显著差异。宁春 47 号经过干旱处理后, ADPG - PPase 活性也在花后 25 ~ 30 d 达到一个最高值, 其中 W3 > W2 > W1; 轻度干旱 (W2) 下, ADPG - PPase 活性下降幅度为 4.50% ~ 33.82%; 重度干旱 (W1) 下, 下降幅度为 16.22% ~ 44.57%。经方差分析得, W1、W2 的 ADPG - PPase 活性与 W3 呈显著差异。因此, 土壤含水量的减少抑制了 ADPG - PPase 活性, 从而影响淀粉的合成。

水分胁迫对两个春小麦品种的 ADPG - PPase 活性都有抑制作用 (花后 30 d, 以品种宁春 4 号和宁春 47 号为主处理因素, W1、W2、W3 为副处理, 下同), 经裂区试验统计分析得宁春 47 号与宁春 4 号两品种无显著差异, 但由 ADPG - PPase 活性平均值及下降幅度相比较而言, 对宁春 47 号的抑制作用较小。与宁春 4 号相比, 宁春 47 号的抗逆性较高, 对环境的适应性较强。

2.2.2 花后干旱对籽粒 UDPG - PPase 活性的影响

开花后 20 d 对两个春小麦品种进行干旱处理, 结果表明, UDPG - PPase 活性呈现先上升后下降的趋势, 在花后 25 ~ 30 d 达到一个最高值, 其中 W3 > W2 > W1。土壤含水量为 W3 时 UDPG - PPase 活性最高, 重度干旱 (W1) 时最低。由图 3 可见, 宁春 4 号在轻度干旱 (W2) 下, UDPG - PPase 活性下降幅度为 10.45% ~ 20.57%; 重度干旱 (W1) 下, 下降幅度为 4.48% ~ 41.51%。经方差分析得, W1 的 UDPG - PPase 活性与 W3 呈显著差异; W2 的 UDPG - PPase 活性在花后 30 d、35 d 与 W3 呈显著差异。宁春 47 号在轻度干旱 (W2) 下, UDPG - PPase 活性下降幅度为 13.27% ~ 38.00%; 重度干旱 (W1) 下, 下降幅度为 26.76% ~ 69.39%。经方差分析得, W1、W2 的 UDPG - PPase 活性与 W3 呈显著差异。因此, 土壤含水量的减少抑制了 UDPG - PPase 活性, 从而影响籽粒淀粉的合成。

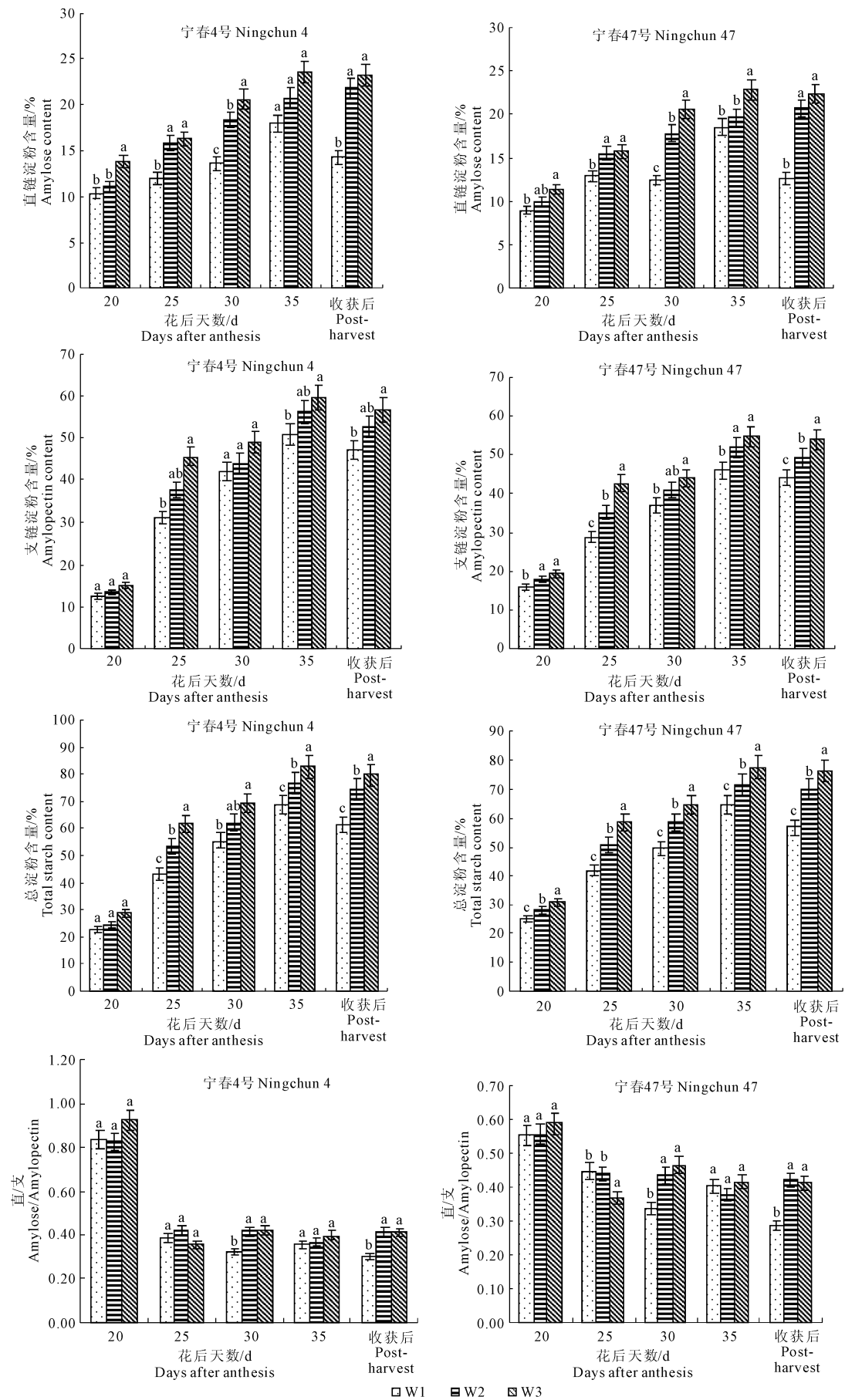


图 1 花后干旱处理对籽粒淀粉含量和直/支的影响

Fig.1 Effects of drought after anthesis on starch contents and amylose/mylopection in grains

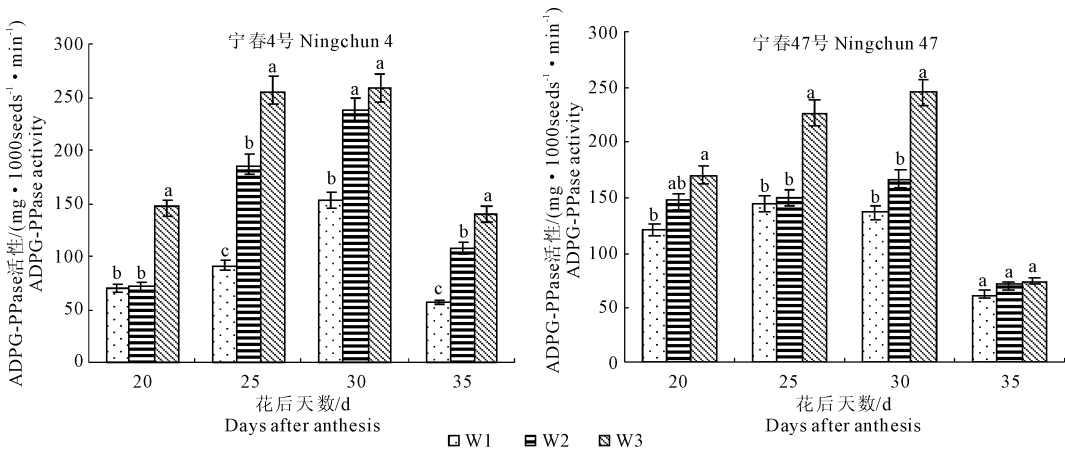


图 2 花后干旱处理对籽粒 ADPG – PPase 活性的影响

Fig.2 Effects of drought after anthesis on ADPG – PPase activities in grains

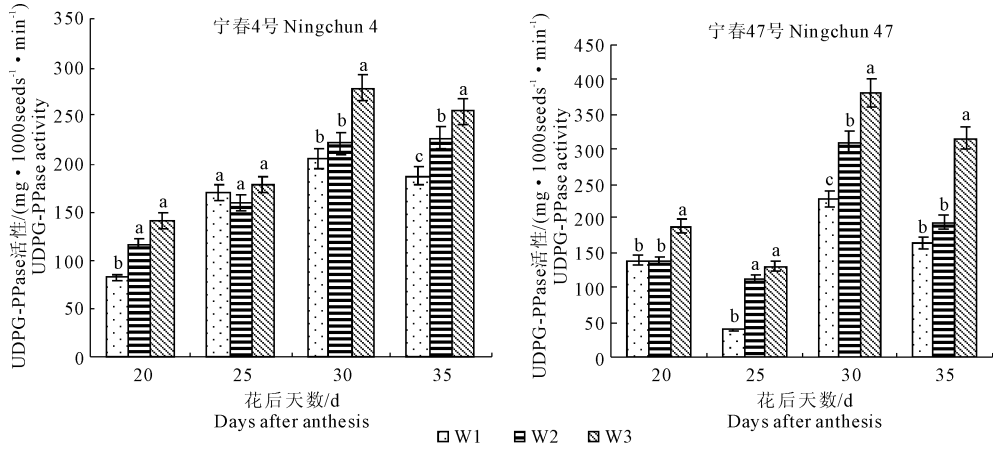


图 3 花后干旱处理对籽粒 UDPG – PPase 活性的影响

Fig.3 Effects of drought after anthesis on UDPG – PPase activities in grains

水分胁迫对两个春小麦品种的 UDPG – PPase 活性都有抑制作用,由裂区试验统计分析得宁春 47 号与宁春 4 号呈显著差异,对宁春 4 号的抑制作用小。与宁春 47 号相比,宁春 4 号的抗逆性较高,对环境的适应性较强。

2.2.3 花后干旱对籽粒 SSS 酶活性的影响 开花后 20 d 对两个春小麦品种宁春 4 号和宁春 47 号进行干旱处理,结果表明,土壤含水量为 W3 时 SSS 酶活性最高,重度干旱(W1)时最低。由图 4 可见,宁春 4 号在轻度干旱(W2)下,SSS 酶活性下降幅度为 9.09% ~ 21.31%;重度干旱(W1)下,下降幅度为 21.21% ~ 33.01%。经方差分析得,W1 的 SSS 酶活性与 W3 呈显著差异;W2 的 SSS 酶活性在花后 30 d、35 d 与 W3 呈显著差异。宁春 47 号在轻度干旱(W2)下,SSS 酶活性下降幅度为 17.14% ~ 42.31%;重度干旱(W1)下,下降幅度为 32.41% ~ 63.41%。经方差分析得,W1、W2 的 SSS 酶活性与 W3 呈显著差异。因此,土壤含水量的减少抑制了 SSS 酶活性,从而影响籽粒淀粉的合成。

水分胁迫对两个春小麦品种宁春 4 号和宁春 47 号的 SSS 酶活性都有抑制作用,经裂区试验分析得两品种间无显著差异,但由 SSS 酶活性平均数比较而言,对宁春 4 号的抑制作用小。和宁春 47 号相比,宁春 4 号的抗逆性较高,对环境的适应性较强。

2.2.4 花后干旱对籽粒 SBE 酶活性的影响 开花后 20 d 对两个春小麦品种进行干旱处理,结果表明,SBE 酶活性呈现先上升后下降的趋势,在花后 25 d 左右达到一个最高值,土壤含水量为 W3 时 SBE 酶活性最高,重度干旱(W1)时最低。由图 5 可见,宁春 4 号在轻度干旱(W2)下,SBE 酶活性下降幅度为 21.16% ~ 62.01%;重度干旱(W1)下,下降幅度为 6.21% ~ 64.43%。经方差分析得,W1、W2 的 SBE 酶活性在花后 20 d、30 d 与 W3 呈显著差异。宁春 47 号在轻度干旱(W2)下,SBE 酶活性下降幅度为 3.18% ~ 38.78%;重度干旱(W1)下,下降幅度为 48.31% ~ 81.43%。经方差分析得,W1 的 SBE 酶活性与 W2、W3 呈显著差异。因此,土壤含水量的减少抑制了 SBE 酶活性,从而影响籽粒淀粉的合成。

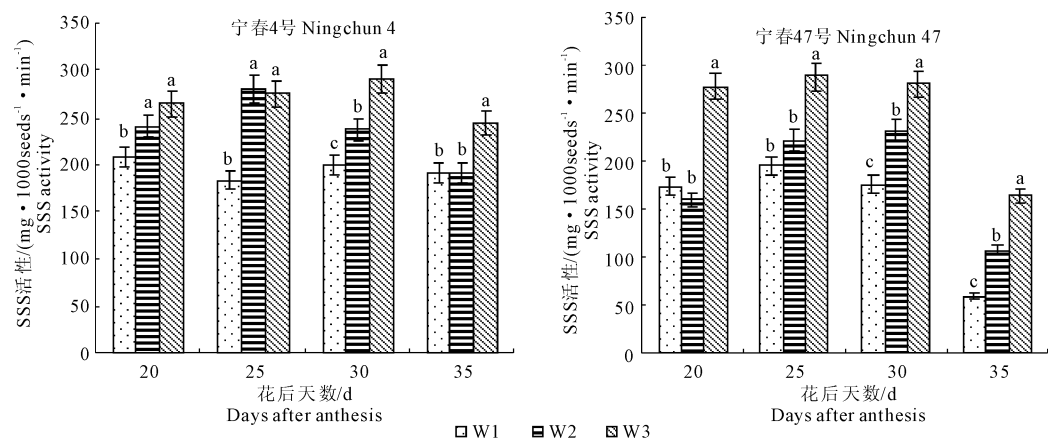


图 4 花后干旱对籽粒 SSS 酶活性的影响
Fig.4 Effects of drought after anthesis on SSS activities in grains

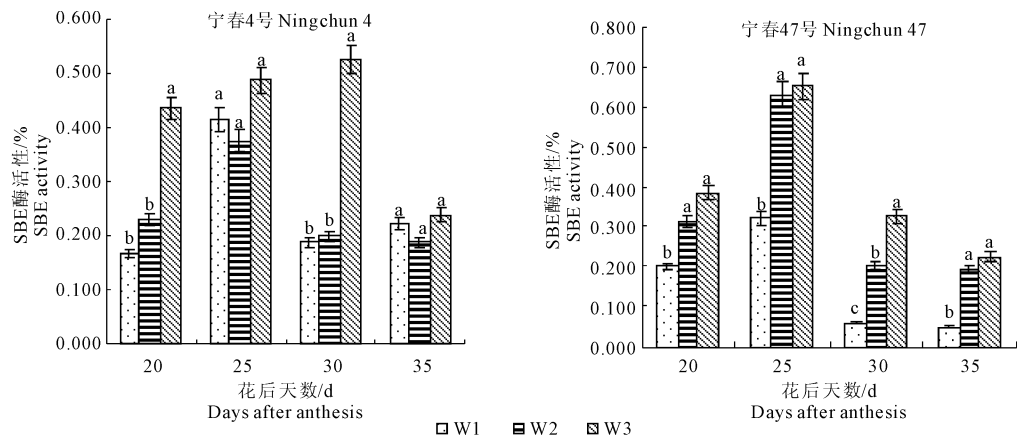


图 5 花后干旱处理对籽粒 SBE 酶活性的影响
Fig.5 Effects of drought after anthesis on SBE activities in grains

水分胁迫对两个春小麦品种的 SBE 酶活性都有抑制作用,由裂区试验统计分析得两品种间无显著差异,但由 SBE 酶活性平均数比较而言,对宁春 4 号的抑制作用小。与宁春 47 号相比,宁春 4 号的抗逆性较高,对环境的适应性较强。

2.2.5 籽粒淀粉含量与淀粉合成关键酶活性的相关性分析 由表 1 的相关分析可知,就宁春 4 号而言,籽粒中总淀粉含量与 ADPG – PPase 和 UDPG – PPase 活性呈显著正相关关系;直链淀粉含量与

ADPG – PPase、UDPG – PPase、SSS、SBE 活性的相关性均不显著;支链淀粉含量与 ADPG – PPase 活性呈显著正相关关系,与 UDPG – PPase 活性呈极显著正相关关系。就宁春 47 号而言,籽粒中总淀粉含量与 UDPG – PPase、SSS 活性呈显著正相关关系,与 SBE 活性呈极显著正相关关系;直链淀粉含量与 ADPG – PPase、UDPG – PPase、SSS、SBE 活性的相关性均不显著;支链淀粉含量与 UDPG – PPase 活性呈显著正相关关系,与 SSS、SBE 呈极显著正相关关系。因此,

表 1 籽粒淀粉含量与淀粉合成关键酶活性的相关性分析
Table 1 The correlation analyses of starch contents and the starch enzyme activities in grains

品种 Cultivar	淀粉含量 Starch content	ADPG – PPase activity	UDPG – PPase activity	SSS activity	SBE activity
宁春 4 号 Ningchun 4	总淀粉含量 Starch content	0.699 *	0.682 *	0.185	0.316
	直链淀粉含量 Amylose content	0.481	0.417	0.246	0.365
	支链淀粉含量 Amylopectin content	0.755 *	0.790 **	0.081	0.195
宁春 47 号 Ningchun 47	总淀粉含量 Starch content	0.562	0.708 *	0.737 *	0.821 **
	直链淀粉含量 Amylose content	0.384	0.496	0.281	0.405
	支链淀粉含量 Amylopectin content	0.547	0.680 *	0.906 **	0.931 **

注: * 表示显著相关; ** 表示极显著相关。
Note: * means significant correlation; ** means highly significant correlation.

SSS、SBE 活性对支链淀粉影响显著,能促进支链淀粉的形成;ADPG-PPase 活性和 UDPG-PPase 活性对总淀粉含量影响显著,ADPG-PPase 活性和 UDPG-PPase 活性的提高能增加总淀粉含量。

3 结果与讨论

工业革命以来,石化燃料的大量利用使大气中 CO_2 、 CH_4 等温室气体浓度不断增加,全球气候增暖的趋势不可逆转,洪涝、干旱、高温等自然灾害的频度和强度增加,对农业生产影响巨大。国内外学者围绕作物高温、干旱的敏感期、形态反应与生理机制开展了大量研究^[9-11]。春小麦是宁夏主栽作物,最适宜灌浆温度为 $20^\circ\text{C} \sim 22^\circ\text{C}$,但在生育后期频繁遇到高温、干旱等自然因素,导致春小麦减产、品质下降。我们课题组针对高温对春小麦产量和品质的影响做了一定的研究^[11-14],结果表明花后高温导致籽粒中 ADPG、UDPG、SSS 和 SBE 活性下降 5%~10%,籽粒淀粉含量下降,直/支值降低,影响春小麦淀粉品质。而干旱作为世界性问题,一直是国内外学者研究的热点之一,以冬小麦为材料的研究较多,但干旱因素对春小麦淀粉含量的影响研究较少。兰涛等^[4]的研究结果表明花后干旱显著提高小麦籽粒蛋白质、面筋含量及蛋白谷/醇比;多数品质性状以花后土壤水分相对含量 55% 时最优。干旱胁迫降低籽粒淀粉积累量,但对淀粉含量的影响因品种而异。许振柱等^[3]研究表明严重干旱降低冬小麦籽粒中总淀粉、支链淀粉、直链淀粉含量及直/支比例。苗建利等^[15]研究认为,干旱胁迫使小麦籽粒直链淀粉的含量显著下降,但灌浆前期干旱对支链淀粉影响不显著,而中、后期干旱对支链淀粉的影响因品种而异。也有研究表明,干旱胁迫可降低小麦籽粒中总淀粉、直链淀粉和支链淀粉含量,主要与 GBSS、SSS 和 ADPG-PPase 活性下降有关,但不同酶对水分胁迫强度的反应不同^[3-5]。而王征宏等^[16]研究发现,干旱处理提高了灌浆前期小麦籽粒淀粉积累速率、籽粒 SS(蔗糖合成酶)、ADPG-PPase、UDPG-PPase、SSS 和 GBSS 酶活性,认为 SS、ADPG-PPase 是干旱影响小麦淀粉积累速率的主要调节酶,抗旱性强的小麦品种 ADPG-PPase 的调节作用较大,而抗旱性弱的小麦品种 SS 的调节作用较大。

本试验研究发现,花后干旱显著降低了春小麦籽粒淀粉形成的各项相关指标。花后干旱处理对春小麦的影响表现为 $W1 > W2 > W3(\text{CK})$ 。重度干旱($W1$)分别使宁春 4 号和宁春 47 号的直链淀粉下降 30.07% 和 29.58%,支链淀粉分别下降 18.67% 和 19.92%,淀粉总量下降了 22.12% 和 22.82%;轻度

干旱($W2$)分别使宁春 4 号和宁春 47 号的直链淀粉下降 9.92% 和 9.78%,支链淀粉分别下降 9.64% 和 9.02%,淀粉总量下降了 9.72% 和 9.25%,而且使两品种的淀粉形成关键酶(ADPG-PPase 活性、UDPG-PPase 活性、SSS 酶活性和 SBE 酶活性等)活性显著下降。本试验与许振柱^[3]研究结果相一致。由此可见,花后严重干旱会直接影响春小麦籽粒淀粉含量的积累以及淀粉合成关键酶的形成,影响春小麦品质,极大地限制了春小麦的产量。同时,由相关性分析得知,ADPG-PPase 活性和 UDPG-PPase 活性直接影响总淀粉含量,SSS、SBE 酶能促进支链淀粉的形成。因此,选择适宜的品种,增施适量的氮肥,选择适宜的氮肥基追比、施肥时期,采取适宜的水肥处理等可以增加春小麦籽粒产量,提高支链淀粉含量。

参考文献:

- [1] 袁汉明. 宁夏小麦生产发展面临的问题及对策[J]. 宁夏农林科技, 1999, (1): 11-13.
- [2] 李秀兰, 吴成, 邓晓建, 等. 生物技术改良稻米品质的进展[J]. 中国农学通报, 2002, 18(3): 61-64.
- [3] 许振柱, 于振文, 张永丽. 土壤水分对小麦籽粒淀粉合成和积累特性的影响[J]. 作物学报, 2003, 29(4): 595-600.
- [4] 兰涛, 潘洁, 等. 生态环境和播期对小麦籽粒产量及品质性状间相关性的影响[J]. 麦类作物学报, 2005, 25(4): 72-78.
- [5] 范雪梅, 姜东, 等. 花后干旱或渍水逆境下氮素对小麦籽粒产量和品质的影响[J]. 植物生态学报, 2006, 30(1): 71-77.
- [6] 王晨阳. 花后高温和干旱对小麦籽粒淀粉合成加工品质及产量的影响[D]. 郑州: 河南农业大学, 2005.
- [7] 李太贵, 沈波, 陈能, 等. Q 酶在水稻籽粒蛋白形成中作用的研究[J]. 作物学报, 1997, 23(3): 338-344.
- [8] 程方民, 蒋德安, 吴平, 等. 早籼稻籽粒灌浆过程中淀粉合成酶的变化及温度效应特征[J]. 作物学报, 2001, 27(2): 201-206.
- [9] Jenner C F. The physiology of starch and protein deposition in the endosperm of wheat[J]. Australian Journal of Plant Physiology, 1991, 18(3): 211-226.
- [10] Keeling P L, Banisadr R, Barone L, et al. Effects of temperature on enzymes in the pathway of starch biosynthesis in developing wheat and maize grain[J]. Aust J Plant Physiol, 1994, 21: 807-827.
- [11] 周续莲, 吴宏亮, 康建宏. 花后高温对春小麦种子活力的影响[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(32): 19707-19710.
- [12] 周续莲, 康建宏, 吴宏亮, 等. 花后高温对春小麦籽粒淀粉含量及产量的影响研究[J]. 种子, 2012, 31(2): 5-8.
- [13] 姚珊, 康建宏, 王学龙, 等. 花后不同时段高温对春小麦籽粒活力的影响[J]. 西北农业学报, 2013, 22(9): 41-47.
- [14] 吴宏亮, 康建宏, 姚珊, 等. 花后高温干旱对春小麦淀粉形成的影响[J]. 新疆农业科学, 2013, 50(11): 1974-1984.
- [15] 苗建利, 王晨阳, 郭天财, 等. 高温与干旱互作对两种筋力小麦品种籽粒淀粉及其组分含量的影响[J]. 麦类作物学报, 2008, 28(2): 254-259.
- [16] 王征宏, 郭秀璞, 吕淑芳, 等. 土壤干旱对不同小麦品种籽粒淀粉积累和相关酶活性的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2011, 29(3): 67-74.