

不同栽培模式下冬小麦籽粒糖及淀粉累积的动态研究

鱼欢, 冯佰利*, 高金锋, 王鹏科, 张英, 刘鹏涛, 杨改河

(西北农林科技大学, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 以冬小麦小偃 22 为试验材料, 在 120 kg/hm^2 施氮水平和基本苗为 $130 \sim 150 \text{ 万 hm}^2$ 下, 研究常规栽培(CK)、覆草栽培、地膜覆盖 3 种不同栽培模式灌浆期小麦籽粒可溶性总糖含量、蔗糖含量及淀粉累积的动态变化。试验结果表明, 不同栽培模式小麦籽粒可溶性总糖含量、蔗糖含量、淀粉含量存在差异。与常规栽培相比较, 在覆草栽培条件下, 可溶性总糖含量、蔗糖含量在灌浆前期高于常规栽培, 在成熟期低于常规栽培; 而淀粉含量始终高于常规栽培, 且籽粒的饱满指数和产量均显著高于常规栽培。地膜覆盖栽培条件下, 可溶性总糖含量、蔗糖含量在灌浆前期高于常规栽培, 在成熟期低于常规栽培; 而淀粉含量始终高于常规栽培, 且籽粒的饱满指数和产量均高于常规栽培。在覆草和地膜覆盖栽培条件下冬小麦器官中可溶性总糖、蔗糖的合成代谢旺盛, 可溶性总糖含量、蔗糖积累量高, “库”器官中可溶性总糖、蔗糖供应充足, 可溶性总糖、蔗糖的降解代谢旺盛, 具有较强的同化物利用能力, 为籽粒中淀粉的快速积累以及最终实现较高的粒重和产量奠定了基础。

关键词: 栽培模式; 冬小麦; 可溶性总糖; 蔗糖; 淀粉

中图分类号: S512.1⁺¹ **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2008)02-0090-04

小麦籽粒的充实过程, 主要是淀粉的合成和积累过程。淀粉的合成和积累与源的供应能力、籽粒的库存容量和物质转运能力密切相关。淀粉是小麦重要的储存多糖, 是人类粮食和动物饲料的重要碳源和能源, 其含量直接关系到粒重和产量高低, 并在很大程度上影响小麦的品质性状^[1]。籽粒灌浆物质所需的光合产物既包括光合器官生产的即时光合产物, 又包括营养器官中的贮存光合产物。贮存光合产物可分为开花前贮存和开花后贮存两部分, 前者对粒重的贡献约为 3%~30%, 后者约为 10%~25%^[2,3]。贮存光合产物以水溶性碳水化合物形式存在, 主要成分为可溶性糖、蔗糖等。胚乳中的淀粉是由源器官制造的光合同化物以蔗糖形式输入库器官(籽粒), 在籽粒中经过一系列酶的催化作用形成的^[4]。可溶性糖是淀粉合成的底物, 其含量的高低与淀粉积累密切相关。张秋英等^[5]、刘仲齐等^[6]研究发现小麦籽粒灌浆过程中籽粒可溶性糖含量变化与淀粉积累速率无显著的相关性, 因此认为源的供应能力基本满足籽粒的需求量, 籽粒的贮存容量和物质转化能力是淀粉积累的主要因素^[5~7]。目前有许多关于小麦叶片光合产物供应、贮存光合产物代谢和籽粒可溶性糖含量变化与籽粒淀粉积累之间关系的报道^[2,3,8,9]。地膜覆盖栽培具有明显的增

温保墒作用和增产效果^[10]。地膜覆盖的增温保墒作用利于作物前期生长和水分利用, 而在生育后期使作物根系发育受到抑制, 作物蒸散量和水分利用效率下降, 影响产量的形成^[11]。秸秆覆盖栽培可提高作物水分利用效率^[12]; 多年连续秸秆覆盖可使 0~20 cm 土层土壤有机质、全氮、全磷、有效氮和有效磷含量明显增加^[13,14]; 可提高农田光能利用率^[15]。而关于地膜覆盖栽培和覆草栽培条件下小麦籽粒可溶性糖含量、蔗糖含量变化与籽粒淀粉累积之间的研究还尚未见详细报道。本试验选择黄淮平原地区优良小麦品种小偃 22(*Triticum aestivum* L.), 研究了在不同栽培模式下旱地冬小麦灌浆期籽粒可溶性总糖含量、蔗糖含量、淀粉含量、饱满指数以及产量等因素, 旨在进一步探讨不同栽培模式下冬小麦灌浆期籽粒碳水化合物代谢的特点, 揭示不同栽培模式对冬小麦生长发育的影响, 为小麦高产优质栽培提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验于 2005~2006 年在西北农林科技大学农作试验站进行。该站位于黄土高原南部半湿润易旱区, 东经 $108^\circ \sim 108^\circ 7'$, 北纬 $34^\circ 12' \sim 34^\circ 20'$, 海拔

收稿日期: 2007-04-20

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863 计划)项目(2006AA100201); 国家自然科学基金重大项目(30230230)

作者简介: 鱼欢(1982-), 女, 陕西西安市人, 博士研究生, 主要从事作物高产生态生理研究。E-mail: yhdwm2000@yahoo.com.cn

* 通讯作者: 冯佰利(1966-), 男, 陕西耀县人, 教授, 博士生导师, 主要从事作物高产生态生理技术及小杂粮栽培、育种研究。E-mail: 7012766@163.com

520 mm,年平均降水量为660 mm,主要集中在7~9月,为暖温带半湿润气候。试验地土壤为壤土,前茬休闲。设常规无覆盖栽培(CK)、秸秆覆盖(小麦行间覆盖麦草4500 kg/hm²,全生育期覆盖)、地膜覆盖(采用当地的平覆膜方式,全区覆膜,膜上播种小麦,全生育期覆盖)3种栽培模式。随机区组排列,小区面积6 m×4.8 m=28.8 m²,重复3次,基本苗为130~150万/hm²。每季小麦施纯氮120 kg/hm²,以过磷酸钙为底肥,施用量为1500 kg/hm²。供试品种为冬小麦(*Triticum aestivum* L.)小偃22。于2005年10月上旬开沟带尺点播,田间管理按黄淮麦区品种比较试验要求进行。

1.2 测定项目及方法

在小麦开花期选择同一天开花、生长基本一致且无病虫害的小麦单茎,进行挂牌标记,从挂牌后第7天开始取样,以后每隔6天于上午8:00取样,每小区选取具有代表性的标记植株穗子各10个,剥出籽粒,在105℃下杀青10 min,然后再80℃下烘干至恒重。

1.2.1 提取液制备 称取植物干样0.3 g于10 ml离心管中,加入5 ml 80%乙醇溶液,80℃水浴中浸提30 min,并不断搅拌,用少量80%乙醇溶液冲洗玻棒,并将溶液冷却室温后3500×g下离心10 min,上清液转入25 ml试管中,在向沉淀中加入5 ml 80%乙醇,如上法重复浸提2次,将上清液合并于25 ml试管中,并用80%乙醇定容至刻度,用于可溶性总糖和蔗糖的测定。向沉淀中加入2 ml蒸馏水,沸水浴中糊化15 min,冷却后加入2 ml 9.2 mol/L HClO₄,搅拌15 min后,用蒸馏水冲洗玻棒,加蒸馏水3 ml,混匀后3500×g离心10 min,上清液转入100 ml容量瓶中,在向沉淀中加入2 ml 4.6 mol/L HClO₄,搅拌提取15 min,加入5 ml蒸馏水,混匀后离心10 min,合并上清液,并用蒸馏水洗沉淀2次,每次5 ml,合并上清液并用蒸馏水定容,用于测定淀粉。

1.2.2 可溶性总糖含量 可溶性总糖的测定采用蒽酮一硫酸试剂法^[16,17]。

1.2.3 蔗糖含量 取可溶性总糖提取液0.5 ml,加入0.5 ml 2 mol/L NaOH,沸水中煮沸5 min,冷却,再加入7 ml 30% HCl,2 ml 0.1%间苯二酚,混匀,80℃水浴中加热10 min,冷却后在480 nm下测定其吸光度。

1.2.4 淀粉含量 淀粉测定方法同可溶性总糖测定方法^[16,17]。

1.2.5 饱满指数 在小麦乳熟期和蜡熟期,每小区分别取挂牌小麦穗10穗,剥出籽粒,用量筒注水法

分别测定鲜粒最大体积和成熟时晒干体积,计算饱满指数。

1.2.6 产量及构成因素 成熟期每个处理选取6 m²地上植株分析籽粒产量构成因素,收获期按照常规方法进行考种。

1.3 数据分析

采用Microsoft Excel, DPS和Origin统计软件进行数据处理和分析。

2 结果与分析

2.1 不同栽培模式下小麦籽粒可溶性糖含量的变化

图1表明,随着灌浆进程的推进,小麦籽粒可溶性总糖含量呈下降趋势。花后21 d内,籽粒中可溶性总糖含量下降迅速,但不同栽培模式之间降低速度存在一定的差异,常规栽培模式下降幅度达68.91%,覆草栽培模式下降73.90%,地膜覆盖模式下降69.48%。与常规栽培相比较,覆草栽培条件下小麦籽粒可溶性总糖含量显著高于常规栽培;地膜覆盖模式在开花后7 d与常规栽培差异不显著,在花后14 d与常规栽培差异显著。在开花后21 d以后,下降幅度减缓;在成熟期(即开花后42 d),覆草栽培和地膜覆盖栽培模式小麦籽粒可溶性总糖含量显著低于常规栽培,且覆草模式略低于地膜覆盖模式。表明覆草栽培和地膜覆盖栽培条件下小麦在灌浆初期同化物供应充足,而在灌浆后期具有较强的同化物转化利用能力,且覆草栽培条件下小麦的同化物转化利用能力高于地膜覆盖栽培。

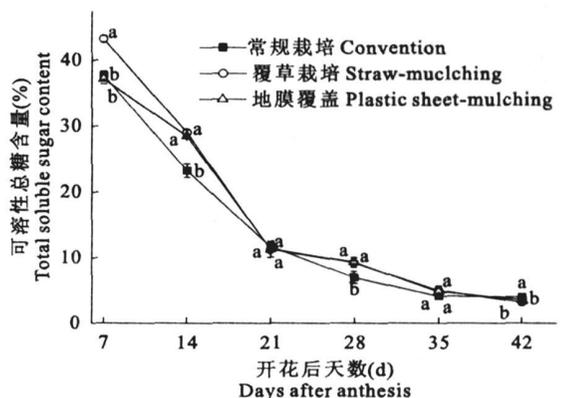


图1 不同栽培条件下小麦籽粒可溶性总糖含量的变化

Fig. 1 Change of total soluble sugar content in wheat grains under different farming modes

注:不同小写字母表示差异达5%显著水平(新复极差法)。下同。
Note: Different small letters indicate significant difference at 0.05 probability level by LSR method. The same as below.

2.2 不同栽培模式下小麦籽粒蔗糖含量的变化

由图 2 可以看出,不同栽培条件下小麦在灌浆期间,籽粒中蔗糖含量与可溶性总糖含量变化趋势一致,即呈下降趋势。花后 21 d 内,籽粒中可溶性总糖含量下降迅速,但不同栽培模式之间降低速度存在一定的差异,常规栽培模式下降幅度达 72.00%,覆草栽培模式下降幅度达 78.55%,地膜覆盖栽培模式下降幅度达 69.12%。与常规栽培相比较,覆草栽培条件下小麦籽粒可溶性总糖含量显著高于常规栽培;地膜覆盖模式在开花后 7 d 与常规栽培差异不显著,在花后 14 d 与常规栽培差异显著,且覆草栽培模式下小麦籽粒可溶性总糖含量显著高于地膜覆盖栽培;在开花后 21 d 以后,下降幅度缓慢。

2.3 不同栽培模式下小麦籽粒淀粉含量的变化

图 3 显示,不同栽培模式下小麦籽粒的淀粉含量与可溶性总糖和蔗糖的变化趋势恰恰相反,均呈现一直上升的趋势。在灌浆初期,3 种栽培模式间淀粉含量差异不显著;在灌浆后期,与常规栽培相比较,覆草栽培和地膜覆盖栽培模式下小麦籽粒的淀粉含量显著高于常规栽培,且花后 21 d 覆草栽培显著高于地膜覆盖栽培模式,花后 28 d 和花后 42 d 地膜覆盖栽培显著高于覆草栽培,花后 35 d 地膜覆盖栽培与覆草栽培模式差异不显著。

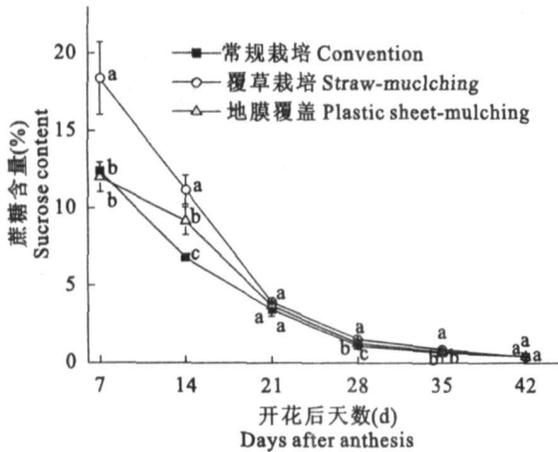


图 2 不同栽培条件下小麦籽粒蔗糖含量的变化
Fig. 2 Change of sucrose content in wheat grains under different farming modes

2.4 不同栽培模式下小麦籽粒饱满指数

由表 1 可知,覆草栽培的籽粒饱满指数达 0.8431,极显著 ($P < 0.01$) 高于常规栽培 (0.7780),与地膜覆盖栽培 (0.8221) 无显著差异 ($P > 0.05$);

地膜覆盖栽培的籽粒饱满指数与常规栽培亦达显著差异 ($P < 0.05$)。说明覆草栽培和地膜覆盖栽培模式下,小麦的籽粒灌浆优于常规栽培,且覆草栽培优于地膜覆盖栽培。覆草栽培同时具有源大流畅的生理特性,其灌浆期生育特性非常有利于籽粒充实。

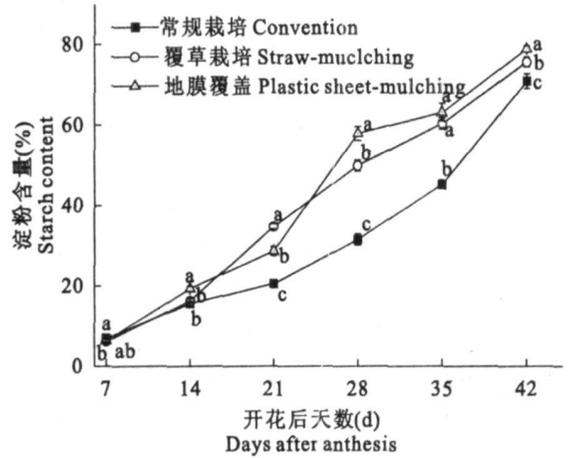


图 3 不同栽培条件下小麦籽粒淀粉含量的变化
Fig. 3 Change of starch content in wheat grains under different farming modes

表 1 不同栽培条件下小麦籽粒的饱满指数

Table 1 Satiety index of wheat under different farming modes

处理 Treatment	饱满指数 Satiety index
常规栽培 Flat planting (CK)	0.7780±0.0205 bB
覆草栽培 Straw mulching	0.8431±0.0076 aA
地膜覆盖 Plastic film mulching	0.8221±0.0156 aAB

注:数据后不同小写和大写字母分别表示差异达 5% 和 1% 显著水平。下表同。

Note: Different small or capital letter following the values are significantly difference at 0.05 or 0.01 probability level, respectively. The same as below.

2.5 不同栽培模式下小麦产量变化

表 2 表明,不同栽培模式下冬小麦产量存在差异,覆草栽培下小麦产量极显著高于常规栽培,与地膜覆盖无显著差异,地膜覆盖栽培与常规栽培亦达极显著差异。覆草栽培下小麦穗数显著高于常规栽培,与地膜覆盖差异不显著,地膜覆盖栽培与常规栽培达极显著差异。不同栽培条件下冬小麦穗粒数差异不显著。覆草栽培下小麦千粒重极显著高于常规栽培,与地膜覆盖无显著差异,地膜覆盖栽培与常规栽培达显著差异。在本试验条件下,不同栽培模式主要通过影响穗数和千粒重进而影响产量,穗粒数对产量影响较小。

表2 不同栽培条件下小麦产量及构成因素

Table 2 The yield and its components of wheat under different farming modes

处理 Treatment	穗数 ($10^4/\text{hm}^2$) Spike number	穗粒数 Grains per spike	千粒重(g) 1000-kernel wt.	产量 Yield (kg/hm^2)
常规栽培 Flat planting(CK)	312±16bB	51±6a	38.7±0.6bB	5182±350bB
覆草栽培 Straw mulching	373±18aAB	55±5a	40.8±0.7aA	7073±435aA
地膜覆盖 Plastic film mulching	383±20aA	56±7a	40.3±0.7aAB	7291±440aA

3 讨论

淀粉是小麦籽粒的主要组成成分,籽粒胚乳中的淀粉含量最多,约占粒重的 $3/4$ ^[18]。可溶性糖是淀粉合成的底物,其含量的高低与淀粉积累密切相关。高松洁等研究指出,灌浆期冬小麦可溶性总糖含量呈单峰下降曲线,淀粉含量呈上升趋势^[19]。本试验结果表明,在 $120\text{ kg}/\text{hm}^2$ 施氮水平和基本苗为 $130\sim 150\text{ 万}/\text{hm}^2$ 条件下,冬小麦籽粒灌浆期间,淀粉含量与可溶性总糖、蔗糖含量的变化趋势相反。不同栽培模式下冬小麦籽粒的可溶性总糖、蔗糖含量呈一直下降的趋势,淀粉含量则呈一直上升的趋势,这与前人的研究结果相一致^[19]。覆草栽培模式下,可溶性总糖含量、蔗糖含量在灌浆前期高于常规栽培,在成熟期低于常规栽培;而淀粉含量始终高于常规栽培,且籽粒的饱满指数和产量均显著高于常规栽培。地膜覆盖栽培模式下,可溶性总糖含量、蔗糖含量在灌浆前期高于常规栽培,在成熟期低于常规栽培;而淀粉含量始终高于常规栽培,且籽粒的饱满指数和产量均高于常规栽培。说明在覆草栽培和地膜覆盖栽培模式下冬小麦器官中可溶性总糖、蔗糖的合成代谢旺盛,可溶性总糖含量、蔗糖含量高,“库”器官中可溶性总糖、蔗糖供应充足,可溶性总糖、蔗糖的降解代谢旺盛,具有较强的同化物利用能力,为籽粒中淀粉的快速积累以及最终实现较高的粒重和产量奠定了基础。且覆草栽培模式下可溶性总糖、蔗糖的合成代谢和物质转化能力高于地膜覆盖栽培。因此,在本地区冬小麦栽培过程中,可采用适当的栽培模式来调控小麦个体、群体的生长发育,以建立合理的群体结构与个体发育模式,协调源、库、流关系,使冬小麦在生长发育过程中不但要有较好的“源”、较大的“库”,而且“流”也比较畅,促进籽粒的充实,从而提高本地区冬小麦产量和品质。同时,本试验应该在不同天气年份、不同试验地点以及不同肥力下继续进行更加深入的研究。

参考文献:

- [1] Visser R G F, Stolte A, Jacobsen E. Towards modifying plants for altered starch content and composition [J]. *Plant Science*, 1994, 11: 63-68.
- [2] 张立言, 刘树欣, 李振国, 等. 高产麦田开花后干物质积累、运转、分配与产量构成[J]. *北京农学院学报*, 1988, 3(2): 76-83.
- [3] 姜东, 于振文, 李永庚, 等. 冬小麦叶茎粒可溶性糖含量变化与籽粒淀粉积累的关系[J]. *麦类作物学报*, 2001, 21(3): 38-41.
- [4] Douglas C D, Tsung M K, Frederick C F. Enzymes of sucrose and hexose metabolism in developing kernels of two inbreds of maize[J]. *Plant Physiology*, 1988, 86: 1013-1019.
- [5] 张秋英, 刘娜, 金剑, 等. 春小麦籽粒淀粉和蛋白质积累与底物供应的关系[J]. *麦类作物学报*, 2000, 29(1): 55-58.
- [6] 刘仲齐, 吴兆苏, 俞世蓉. 吡啶乙酸和脱落酸对小麦籽粒淀粉积累的影响[J]. *南京农业大学学报*, 1992, 15(1): 7-12.
- [7] Lingle S E, Chevalier P. Movement and metabolism of sucrose in developing barley kernels[J]. *Crop Sci*, 1984, 24: 315-319.
- [8] 赵会杰, 邹琦, 张秀英. 两个不同穗型小麦品种生育后期碳水化合物代谢的比较研究[J]. *作物学报*, 2003, 29(5): 676-681.
- [9] 李友军, 熊瑛, 吕强, 等. 不同类型专用小麦叶、茎、粒可溶性糖变化与淀粉含量的关系[J]. *中国农业科学*, 2005, 38(11): 2219-2226.
- [10] 张睿, 刘党校, 李景琦, 等. 地膜覆盖对低群体冬小麦生长发育效应的研究[J]. *麦类作物*, 1998, 18(1): 55-57.
- [11] 王俊, 李凤民, 宋秋华, 等. 地膜覆盖对土壤水温和春小麦产量形成的影响[J]. *应用生态学报*, 2003, 14(2): 205-210.
- [12] 谷洁, 高华, 方日尧. 施肥和秸秆覆盖对旱地作物水分利用效率的影响[J]. *农业工程学报*, 1998, 14(2): 160-164.
- [13] 高云超, 朱文珊, 陈文新. 秸秆覆盖免耕土壤微生物生物量与养分转化的研究[J]. *中国农业科学*, 1994, 27(6): 41-49.
- [14] 刘晓冰, 宋春雨, Stephen J Herbert, 等. 覆盖作物的生态效应[J]. *应用生态学报*, 2002, 13(3): 365-368.
- [15] 李全起, 陈雨海, 吴巍, 等. 秸秆覆盖和灌溉对冬小麦农田光能利用率的影响[J]. *应用生态学报*, 2006, 17(2): 243-246.
- [16] 何照范. 粮油籽粒品质及其分析技术[M]. 北京: 农业出版社, 1985.
- [17] 高俊凤. 植物生理学实验技术[M]. 西安: 世界图书出版公司, 2000.
- [18] 张元培. 展望新世纪的优质小麦品种研究与开发(二)[J]. *粮食与饲料工业*, 1998, (8): 1-3.
- [19] 高松洁, 王文静, 郭天财, 等. 不同穗型冬小麦品种灌浆期旗叶碳氮代谢特点及籽粒淀粉积累动态[J]. *作物学报*, 2003, 29(3): 427-431.

(英文摘要下转第101页)

日播种,但应采用地膜覆盖,也可以降低板结及盐碱对种子发芽出苗的影响。该区属于冰雹多发区,夏季应注意防雹,秋季应注意防秋霜。建议种植科河 10 号、哲单 7 号、四单 19 等短生育期品种,或种植一些青贮饲料玉米,如科多 8 号、科青 1 号等。

3.4 不适宜种植区

该区位于巴彦淖尔地区北部、东部,包括乌拉特

草原及乌前旗、乌中旗东部地区。由于降水较少,风沙大,热量条件差,无霜期短,没有适合的地下水资源可利用,因此,不宜种植玉米。

参考文献:

- [1] 龚绍先. 粮食作物与气象[M]. 北京:北京农业大学出版社, 1988.
- [2] 白栋才,杨文彬. 玉米地膜覆盖[M]. 北京:农业出版社, 1993.

Analysis of agricultural climate condition for corn and its suitable growing areas in Hetao

YANG Song¹, LIU Jun-lin¹, TAO Na¹, LI Jin-tian¹, LI Xue-bing², WANG Min¹

(1. Bayannaer Meteorological Bureau, Linhe, Inner Mongolia 015000, China;

2. Bayannaer Agricultural Meteorology Institute, Linhe, Inner Mongolia 015000, China)

Abstract: Calculation was made of the mean value of main factors, such as temperature and sunshine, for corn growth in many years and, at the same time, analysis was also done of the favorable and unfavorable conditions in different stages by using the data of corn production from two observation posts in Hetao irrigation region for 22 years. Then a regression model was established on the basis of the data of climate and climatic potential yield, and the region was divided into three parts, namely the most suitable area, the suitable area and basically suitable area. At last suggestions were put forward for the improvement of corn production in different areas.

Keywords: spring corn; agricultural climate; area division; Hetao region

(上接第 93 页)

Dynamic change of sugar content and starch accumulation in grains during grain filling stage of winter wheat in different farming modes

YU Huan, FENG Bai-li^{*}, GAO Jin-feng, WANG Peng-ke, ZHANG Ying, LIU Peng-tao, YANG Gai-he

(College of Agronomy, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: The experiment was carried out to study the effects of three farming modes (Flat planting, straw mulching, plastic film-mulching) at 120 kg N/hm² and planting density 130~150×10⁴ plants/hm² on sugar contents and starch accumulation in grains during grain filling of the winter wheat variety Xiaoyan 22. The results showed that sugar contents and starch accumulation varied with the farming modes. Compared with flat farming, the total soluble sugar contents and sucrose contents in straw mulching and plastic film-mulching were higher than that in flat farming during the early filling stage, while they were lower than that in flat farming during maturity stage. The starch contents in straw mulching and plastic film-mulching were higher than that in flat farming during the filling stage, and satiety index of wheat grain and the yield were all higher than that in flat farming. The results indicated that anabolism of total soluble sugar and sucrose of wheat in straw mulching and plastic film-mulching were thriving, and the total soluble sugar and sucrose were abundance in grains in straw mulching and plastic film-mulching. The degradation of total soluble sugar and sucrose of wheat in straw mulching and plastic film-mulching were thriving, and the ability of supplying and utilizing assimilate in straw mulching and plastic film-mulching were strong during grain filling stage.

Key words: farming modes; winter wheat; total soluble sugar; sucrose; starch