

分类号：
学 号：20232112044

密 级：公开
单位代码：10759

石河子大学

硕 士 学 位 论 文



新疆高产冬小麦 ($>12000\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) 干物质 积累与分配特征研究

学 位 申 请 人	任航
指 导 教 师	孔广超 教授 聂迎彬 研究员
申 请 学 位 类 别	农业硕士
专 业 名 称	农业
研 究 领 域	农艺与种业
所 在 学 院	农学院

中国·新疆·石河子
2026年5月

分类号：
学号：20232112044

密级：公开
单位代码：10759

石河子大学

硕士学位论文



新疆高产冬小麦 ($>12000\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) 干物质 积累与分配特征研究

学位申请人	任航
指导教师	孔广超 教授 聂迎彬 研究员
申请学位类别	农业硕士
专业名称	农业
研究领域	农艺与种业
所在学院	农学院

中国·新疆·石河子
2026年5月

**Dry Matter Accumulation and Distribution of
Super-High Yield Winter Wheat ($>12000\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) in Xinjiang**

A Dissertation Submitted to

Shihezi University

In Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of

Master of Agriculture

By

Ren Hang

(Crop Cultivation)

Dissertation Supervisor: Professor Kong Guang-chao


Research fellow. Research scientist. Nie Ying-bin

May, 2026

石河子大学学位论文独创性声明及使用授权声明

学位论文独创性声明


本人所提交的学位论文是在我导师的指导下进行的研究工作及取得的研究成果。据我所知，除文中已经注明引用的内容外，本论文不包含其他个人已经发表或撰写过的研究成果。对本文的研究做出重要贡献的个人和集体，均已在文中作了明确的说明并表示谢意

研究生签名： 

时间：2026 年 5 月 30 日

使用授权声明

本人完全了解石河子大学有关保留、使用学位论文的规定，学校有权保留学位论文并向国家主管部门或指定机构送交论文的电子版和纸质版。有权将学位论文在学校图书馆保存并允许被查阅。有权自行或许可他人将学位论文编入有关数据库提供检索服务。有权将学位论文的标题和摘要汇编出版。保密的学位论文在解密后适用本规定。

研究生签名： 

时间：2026 年 5 月 30 日

导师签名： 

时间：2026 年 5 月 30 日

摘要

【目的】小麦作为新疆重要的粮食作物，在区域粮食安全与农业生产体系中占据重要地位。近年来，随着水肥一体化等技术应用，新疆的小麦单产记录达到 $12000 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ 已成为常态。2023 年在新疆生产建设兵团第六师奇台农场冬小麦单产达 $13472.85 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ，刷新新疆冬小麦单产纪录；2025 年在奇台农场百亩田平均亩产 $12747 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ 、千亩方平均亩产 $11898 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ 、万亩片平均亩产 $11311.5 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ 、十万亩示范区平均亩产 $10123.5 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ，均刷新全国冬小麦单产纪录，实现了从小面积高产创建向大面积推广应用的跨越。因此，系统研究新疆超高产冬小麦产量形成特点及群体特征，对进一步优化小麦栽培技术，实现大面积小麦产量进一步提升提供实践依据。

【方法】试验于 2023 年 9 月至 2025 年 8 月在新疆生产建设兵团第六师奇台农场 22 连开展。试验分两年度进行，2023-2024 年度选用新冬 52 号、垦冬麦 1576、垦冬 13154、垦冬 161 四个高产冬小麦品种（系），采用水肥一体化栽培技术，设置 12.8 cm 等行距、 7.5×10^6 粒 $\cdot\text{ha}^{-1}$ 播种量共 4 个处理。2024-2025 年度，在前期试验设计基础上进行优化完善，增设 2023-2024 年度新疆大面积推广的高产品种石冬 0358 号、增设 7.5 cm 等行距缩行处理及 6.0×10^6 粒 $\cdot\text{ha}^{-1}$ 播种量处理，试验共 20 个处理。试验通过品种、行距、播种量的组合处理，构建出不同产量水平群体，分析不同产量水平群体产量及其构成，探讨冬小麦 $12000 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ 以上超高产群体产量构成、群体特征以及光合和物质积累特征。

【结果】（1）超高产组穗粒数两年试验均显著高于高产组，较高产组平均增幅分别 20.00%、3.15%；千粒重也均显著高于高产组，平均增幅 5.64%、4.50%；而收获穗数高产组显著高于超高产组，平均增幅分别为 9.17%、4.07%。产量构成因子贡献率结果分析表明，超高产组以千粒重贡献最大，其次是有效穗数；而高产组则以穗粒数贡献最大，其次是千粒重。

（2）整个生育期 LAI 变化呈单峰曲线，孕穗期达最大值且高产组花后叶面积指数下降速度明显快于超高产组。2023-2024 年度超高产组 LAI 花后 30 d 较高产组高 16.14%，差异显著。2024-2025 年度超高产组各时期 LAI 均大于高产组，但差异不显著。总光合势超高产组较高产组高 6.32%、3.22%，差异显著。净同化率及总净同化率超高产组各生育阶段均显著高于高产组，总净同化率分别较高产组高 15.77%、21.65%。SPAD 值超高产组各时期均高于高产组，超高产组 2023-2024 年度花后 10 d、20 d、30 d 分别较高产组高 3.43%、3.13%及 1.64%；2024-2025 年分别较高产

组高 4.16%、2.88%及 3.37%。粒数叶比超高产组分别为 0.433 粒·cm⁻²、0.404 粒·cm⁻²，较高产组分别高 1.96%、0.32%；粒重叶比分别为 19.83 mg·cm⁻²、20.84 mg·cm⁻²，较高产组分别高 12.99%、15.78%，差异均显著。

(3) 超高产组干物质积累速率均大于高产组，干物质积累平均增长速率分别为 0.315 t·ha⁻¹·d⁻¹ 及 0.304 t·ha⁻¹·d⁻¹，高于高产组的 0.300 t·ha⁻¹·d⁻¹ 及 0.285 t·ha⁻¹·d⁻¹。超高产组干物质积累总量在各生育阶段均显著高于高产组，干物质积累总量分别较高产组增加了 5.83%、6.83%，其中花后干物质积累量分别为 10065.57、12257.72 kg·ha⁻¹，高于高产组 8903.48、11624.01 kg·ha⁻¹。

(4) 超高产组花后旗叶净光合速率、群体光合速率、Rubisco 和 FBPase 活性、光能利用率均显著高于高产组；2023-2024 年旗叶 Rubisco 活性花后 10 d、20 d、30 d 分别较高产组高 4.50%、2.06%、及 3.99%；FBPase 活性分别较高产组高 4.08%、2.73%、及 3.13%；光能利用率分别较高产组高 17.4%、9.1%及 10.5%。2024-2025 年度旗叶 Rubisco 活性花后 10 d、20 d、30 d 分别较高产组高 4.64%、2.57%、及 2.37%；FBPase 活性分别较高产组高 5.10%、3.99%、及 4.08%；光能利用率分别较高产组高 19.2%、18.2%及 21.1%。

【结论】 12000 kg·ha⁻¹ 以上超高产冬小麦产量构成因素为收获穗数在 526×10⁴ ha⁻¹~626×10⁴ ha⁻¹ 之间、穗粒数为 48.0 粒左右、千粒重为 50.0 g 以上，其中千粒重对超高产小麦的实现最为重要。超高产冬小麦群体拔节期茎蘖数是收获穗数的 1.5~2.2 倍，孕穗期最适叶面积指数为 6.5 左右，开花期为 6 左右，总光合势值为 300~350 左右，群体净同化率为 11 g·m⁻²·d⁻¹ 左右，花后 30 天 SPAD 值为 54 左右，群体光合速率为 18μmol CO₂ m⁻²·s⁻¹ 左右，花后干物质积累量大于 10000 kg·ha⁻¹ 是实现超高产的干物质基础。而在采用水肥一体化技术下，选用高产品种，采用 7.5×10⁶ 粒·ha⁻¹ 播种量、7.5 cm 行距，全程采用高产栽培管理措施，易于实现 12000 kg·ha⁻¹ 超高产水平。

关键词： 冬小麦；超高产群体；光合特性；干物质积累与分配；产量

Abstract

【Objective】 As an important staple crop in Xinjiang, wheat plays a crucial role in the region's food security and agricultural production system. In recent years, with the application of technologies such as integrated water and fertilizer management, winter wheat yields in Xinjiang have frequently reached 12000 kg·ha⁻¹. In 2023, the winter wheat yield at Qitai Farm, Sixth Division, Xinjiang Production and Construction Corps reached 13472.85 kg·ha⁻¹, setting a new record for winter wheat yield in Xinjiang. In 2025, at the same farm, the average yield reached 12747 kg·ha⁻¹ in 100-mu fields, 11898 kg·ha⁻¹ in 1000-mu blocks, 11311.5 kg·ha⁻¹ in 10000-mu sections, and 10123.5 kg·ha⁻¹ in a 100,000-mu demonstration area. All these achievements broke national records for winter wheat yield, marking a leap from small-scale high-yield demonstrations to large-scale popularization and application. Therefore, a systematic study on the yield formation characteristics and population traits of super-high-yield winter wheat in Xinjiang will provide a practical basis for further optimizing wheat cultivation techniques and boosting wheat yields over large areas.

【Methods】 The experiment was conducted from September 2023 to August 2025 in Lian 22, Qitai Farm, the 6th Division of Xinjiang Production and Construction Corps. The experiment was carried out in two annual cycles. For the 2023 - 2024 growing season, four high-yielding winter wheat varieties (lines)—Xin Dong 52, Ken Dong Mai 1576, Ken Dong 13154, and Ken Dong 161—were selected. Under the condition of integrated water and fertilizer management, a total of 4 treatments were set with a uniform row spacing of 12.8 cm and a sowing rate of 7.5×10^6 seeds·ha⁻¹. In the 2024-2025 growing season, on the basis of the experimental design of the previous year, the experiment was optimized and improved: Shidong 0358, a high-yield variety widely promoted in Xinjiang in 2023-2024, was added, along with a narrow uniform row spacing of 7.5 cm and a sowing rate of 6.0×10^6 seeds·ha⁻¹, resulting in a total of 20 experimental treatments. Through the combined treatments of variety, row spacing and sowing rate, different yield-level populations were constructed in the experiment. The yield and its components of populations with different yield levels were analyzed, and the yield components, population characteristics, as well as photosynthetic and material accumulation characteristics of super high-yield winter wheat populations with a yield of more than 12000 kg·ha⁻¹ were explored.

【Results】 (1) The number of grains per spike in the super-high-yield group was significantly higher

than that in the high-yield group in both growing seasons, with average increases of 20.00% and 3.15%, respectively. The 1000-grain weight was also significantly higher in the super-high-yield group than in the high-yield group, with average increases of 5.64% and 4.50%, respectively. In contrast, the effective panicle number in the high-yield group was significantly higher than that in the super-high-yield group across the two years, with average increases of 9.17% and 4.07%, respectively. Analysis of the contribution rate of yield components revealed that the 1000-grain weight made the largest contribution to yield in the super-high-yield group, followed by the effective panicle number. For the high-yield group, the number of grains per spike exhibited the greatest contribution, followed by the 1000-grain weight.

(2) During the two-year experiment, the change in leaf area index (LAI) across the entire growth period exhibited a single-peak curve, reaching the maximum value at the booting stage. The LAI of the high-yield group decreased significantly faster than that of the super-high-yield group after anthesis. In the 2023-2024 growing season, the LAI of the super-high-yield group was 9.22%, 21.34%, and 16.14% higher than that of the high-yield group at 10 d, 20 d, and 30 d after anthesis, respectively, with significant differences. In 2024-2025, the LAI of the super-high-yield group was also higher than that of the high-yield group at all stages, but the differences were not significant. The total leaf area duration (LAD) of the super-high-yield group was 6.32% and 3.22% higher than that of the high-yield group in the two years, with significant differences. The net assimilation rate (NAR) and total net assimilation rate of the super-high-yield group were significantly higher than those of the high-yield group at all growth stages, with the total net assimilation rate being 15.77% and 21.65% higher, respectively. The SPAD value of the super-high-yield group was higher than that of the high-yield group at all stages. In 2023-2024, the SPAD values of the super-high-yield group were 3.43%, 3.13%, and 1.64% higher than those of the high-yield group at 10 d, 20 d, and 30 d after anthesis, respectively; in 2024-2025, the corresponding increases were 4.16%, 2.88%, and 3.37%. The grain number per leaf area ratio of the super-high-yield group was 0.433 grains·cm⁻² and 0.404 grains·cm⁻², which were 1.96% and 0.32% higher than those of the high-yield group. The grain weight per leaf area ratio was 19.83 mg·cm⁻² and 20.84 mg·cm⁻², which were 12.99% and 15.78% higher than those of the high-yield group, with all differences being significant.

(3) During the two-year experiment, the dry matter accumulation rate in the super-high-yield group was higher than that in the high-yield group. The average dry matter accumulation rates were 0.315 t·ha⁻¹·d⁻¹ and 0.304 t·ha⁻¹·d⁻¹ for the super-high-yield group, compared with 0.300 t·ha⁻¹·d⁻¹ and 0.285 t·ha⁻¹·d⁻¹ for the high-

yield group. Total dry matter accumulation in the super-high-yield group was significantly higher than that in the high-yield group at all growth stages, with increases of 5.83% and 6.83% compared with the high-yield group, respectively. Among them, post-anthesis dry matter accumulation amounted to 10065.57 and 12257.72 kg·ha⁻¹ in the super-high-yield group, which were higher than 8903.48 and 11624.01 kg·ha⁻¹ in the high-yield group.

(4) During the two-year experiment, the post-anthesis net photosynthetic rate of flag leaves, canopy photosynthetic rate, activities of Rubisco and FBPase, as well as light use efficiency in the super-high-yield group were all significantly higher than those in the high-yield group. In the 2023-2024 growing season, the Rubisco activity in flag leaves of the super-high-yield group was 4.50%, 2.06%, and 3.99% higher than that of the high-yield group at 10 d, 20 d, and 30 d after anthesis, respectively; FBPase activity was 4.08%, 2.73%, and 3.13% higher; and light use efficiency was 17.4%, 9.1%, and 10.5% higher. In the 2024-2025 growing season, the Rubisco activity in flag leaves of the super-high-yield group was 4.64%, 2.57%, and 2.37% higher than that of the high-yield group at 10 d, 20 d, and 30 d after anthesis, respectively; FBPase activity was 5.10%, 3.99%, and 4.08% higher; and light use efficiency was 19.2%, 18.2%, and 21.1% higher.

【Conclusion】 The yield components for ultra-high-yielding winter wheat (over 12,000 kg·ha⁻¹) include an effective spike number ranging from 526×10⁴ ha⁻¹ to 626×10⁴ ha⁻¹, a grain number per spike of 48.0, and a thousand-grain weight of 50.0 g or higher, with thousand-grain weight being the most critical factor for achieving ultra-high yields. In ultra-high-yielding winter wheat stands, the number of tillers at the jointing stage is 1.5 to 2.2 times the final number of spikes. The optimal leaf area index during the spike initiation stage is approximately 6.5, and approximately 6 during flowering. The total photosynthetic potential is around 300-350, the net assimilation rate of the stand is approximately 11 g·m⁻²·d⁻¹, and the SPAD value 30 days after flowering is around 54. the population photosynthetic rate is around 18 μmol CO₂ m⁻²s⁻¹, and dry matter accumulation exceeding 10,000 kg·ha⁻¹ after flowering constitutes the dry matter foundation for achieving ultra-high yields. When using integrated water and fertilizer management technology, selecting high-yielding varieties, applying a seeding rate of 7.5 × 10⁶ seeds·ha⁻¹, and maintaining a row spacing of 7.5 cm, while implementing high-yield cultivation management practices throughout the entire growth cycle, it is easy to achieve an ultra-high yield level of 12,000 kg·ha⁻¹.

Key words: Winter wheat; Ultra-high-yielding population; Photosynthetic characteristics; Dry matter accumulation and allocation; Yield

目录

第1章 前言	1
1.1 研究背景	1
1.2 研究目的与意义	1
1.3 国内外研究现状与进展	2
1.3.1 国内外小麦产量的变化历程	2
1.3.2 小麦超高产的定义	3
1.3.3 小麦产量构成及品质	4
1.3.4 小麦高产群体特征	5
1.3.5 小麦光合特性	7
1.3.6 小麦物质积累特征	8
1.4 研究内容	9
1.5 技术路线	10
第2章 超高产小麦产量结构及品质特性	11
2.1 试验地概况	11
2.2 试验材料	11
2.3 试验设计	12
2.4 测定项目与方法	13
2.4.1 籽粒产量及其构成因素测定	13
2.4.2 籽粒品质测定	13
2.5 数据处理	13
2.6 结果分析	14
2.6.1 超高产小麦产量及其构成因素	14
2.6.2 超高产小麦籽粒品质	17
2.7 讨论	20
2.7.1 超高产小麦的产量构成因素特征	20
2.7.2 超高产小麦的籽粒品质特征	21
2.8 小结	22
第3章 超高产小麦的群体特征	23
3.1 试验地概况	23
3.2 试验材料	23
3.3 试验设计	23

3.4 测定项目与方法	24
3.4.1 茎蘖调查	24
3.4.2 叶面积指数及光合势的测定	24
3.4.3 SPAD 值的测定	24
3.4.4 干物质积累量的测定	24
3.4.5 净同化率的测定	24
3.4.6 粒叶比的测定	25
3.5 数据处理	25
3.6 结果分析	25
3.6.1 超高产小麦群体茎蘖动态	25
3.6.2 超高产小麦叶面积指数、光合势及净同化率	26
3.6.3 超高产小麦 SPAD 值	29
3.6.4 超高产小麦粒叶比	30
3.7 讨论	31
3.7.1 超高产小麦群体构成	31
3.7.2 超高产小麦衰老特性	32
3.7.3 超高产小麦源库特征	33
3.8 小结	34
第4章 超高产小麦的光合特性	35
4.1 试验地概况	35
4.2 试验材料	35
4.3 试验设计	35
4.4 测定项目与方法	36
4.4.1 光能利用率的测定	36
4.4.2 旗叶净光合速率的测定	36
4.4.3 群体光合速率及叶源量的测定	36
4.4.4 核酮糖 1,5-二磷酸核酮糖羧化酶(Rubisco)和果糖-1,6-二磷酸酯酶(FBPase)测定	37
4.5 数据处理	37
4.6 结果分析	37
4.6.1 超高产小麦上三叶叶面积及高效叶面积率	37
4.6.2 超高产小麦光能利用率	40
4.6.3 超高产小麦旗叶光合速率	41
4.6.4 超高产小麦群体光合速率及叶源量	42

4.6.5 超高产小麦 Rubisco 和 FBPase 活性	44
4.7 讨论	45
4.7.1 超高产小麦叶面积特性	45
4.7.2 超高产小麦光合速率特性	45
4.8 小结	47
第 5 章 超高产小麦的物质积累特性	48
5.1 试验地概况	48
5.2 试验材料	48
5.3 试验设计	48
5.4 测定项目与方法	48
5.4.1 干物质转运率测定	49
5.4.2 籽粒灌浆速率测定	49
5.5 数据处理	49
5.6 结果分析	49
5.6.1 超高产小麦干物质积累量	49
5.6.2 超高产小麦干物质积累速率	51
5.6.3 超高产小麦籽粒灌浆动态	53
5.6.4 超高产小麦花前营养器官贮藏干物质再分配	57
5.6.5 超高产小麦成熟期群体干物质分配特征	58
5.7 讨论	59
5.7.1 超高产小麦物质积累特征	59
5.7.2 超高产小麦物质分配特性	60
5.8 小结	61
第 6 章 研究结论、创新点及展望	62
6.1 研究结论	62
6.2 创新点	62
6.3 展望	63
参考文献	64

第 1 章 前言

1.1 研究背景

粮食安全是社会稳定和国民经济可持续发展的基础，但近年来，全球气温变暖严重影响了作物生长（黎文龙等，2025）。与此同时世界人口已达到 80 亿（李志伟，2022），使得粮食需求不断增大，然而研究表明自上世纪 90 年代以来，全球作物产量增长速率已经减缓，甚至很多地区已出现停滞不前的现象。在此背景下，我国提出了藏粮于地，藏粮于技的战略，旨在强化土地和农业技术、改善耕地质量、优化粮地资源、提高土地产出效率（张克俊等，2025）。

小麦是世届第一大粮食作物，是全球 35%~40%人口的主要口粮，为人类提供了超过 20%的能量消耗（张捷，2022）。因此，小麦的高产稳产对于确保全球和我国粮食安全、促进社会稳定发展具有重要意义（赵凯男等，2025）。小麦总产量的增加依赖于种植面积的扩大和单产的提高。然而，近十年来，全球小麦种植面积明显下降，中国是世界上最大的小麦生产国，产量约占世界总产量的 17%。但近年来，在我国，小麦种植面积已基本稳定（张明伟等，2018），但人口数量的增加以及社会经济的飞速发展，粮食需求不断增大。通过扩大小麦种植面积提高小麦总产量的潜力非常有限，因此优化栽培技术，进一步增加小麦单位面积产量已成为保障粮食安全的战略选择，是提升粮食总产量，确保我国粮食安全的重要途径。

1.2 研究目的与意义

小麦作为新疆重要的粮食作物，在区域粮食安全与农业生产体系中占据关键地位（肖丽等，2022）。近年来，随着水肥一体化等技术应用，新疆的小麦单产水平持续提高，12000 kg·ha⁻¹的高产小麦已然成为常态（桑伟等，2024），2023 年在新疆生产建设兵团第六师五家渠市奇台农场冬小麦单产达 13472.85 kg·ha⁻¹，刷新新疆小麦单产纪录（罗霄等，2024）；2023 年在新疆生产建设兵团第一师阿拉尔市七团六连冬小麦达到了 13053 kg·ha⁻¹，同年第八师石河子市 143 团 16 连的冬小麦平均亩产达到 13414.5 kg·ha⁻¹，第六师五家渠市奇台农场冬小麦 13472.85 kg·ha⁻¹；2025 在新疆生产建设兵团四师可克达拉市四师六十七团冬小麦百亩田平均亩产 12034.5 kg·ha⁻¹、千亩方平均亩产 11779.5 kg·ha⁻¹，刷新伊犁地区高产纪录，同年第六师五家渠市奇台农场百亩田平均亩产 12747

kg·ha⁻¹、千亩方平均亩产 11898 kg·ha⁻¹、万亩片平均亩产 11311.5 kg·ha⁻¹、十万亩示范区平均亩产 10123.5 kg·ha⁻¹，均刷新全国冬小麦单产纪录，实现了从小面积高产示范向大面积推广应用的跨越（兰玲玲，2026）。因此，系统研究新疆超高产小麦产量形成特点，明确高产小麦的群体特征，明确小麦高产机制，对进一步优化小麦栽培技术，实现小麦大面积高产提供理论依据，对提高新疆乃至全国小麦单产以及总产都具有重要意义。

1.3 国内外研究现状与进展

1.3.1 国内外小麦产量的变化历程

小麦作为全球最重要的粮食作物之一，其产量水平直接关系到世界粮食安全与各国农业经济发展。从全球生产格局来看，小麦的群体产量是小麦单产和种植面积共同作用的结果，二者的协同变化是影响小麦总产波动的关键。自上世纪九十年代以来，全球小麦种植面积整体呈现趋于稳定的发展态势，并未出现大规模扩张或缩减，而随着农业科技进步、栽培管理优化以及优良品种的推广应用，世界小麦单产水平实现持续稳步增长，进而推动全球小麦总产量保持持续提升的良好趋势。其中，中国、印度、俄罗斯、美国作为全球小麦生产与消费的核心国家（孙瑞阳等，2024），在世界小麦产业格局中占据主导地位，其生产规模、产量变化及技术发展对全球小麦供需平衡具有重要影响。以美国小麦生产为例，其产量结构变化清晰体现出单产对总产的拉动作用。相关数据显示，2008 年美国小麦种植面积接近 2064.3 万·ha⁻¹，当年小麦总产量达到 5360.3 万 t，折算平均单产为 2597 kg·ha⁻¹（杨尚威，2011）。而到 2022 年，美国小麦种植面积缩减至 1792.8 万·ha⁻¹，在种植面积有所下降的背景下，小麦总产量却提升至 5988.0 万 t，较 2008 年增加了 11.71%，平均单产大幅提高至 3340 kg·ha⁻¹，较 2008 年增加了 743 kg·ha⁻¹，单产增幅高达 28.6%，（刘锐等，2022）单产提升对总产的贡献十分显著。截至 2024 年，美国小麦种植面积为 1840.6 万·ha⁻¹，较 2008 年减少 12.2%，总产量为 5430 万 t（2008 年增加 1.3%）通过对美国不同时期小麦生产数据的系统分析可以明显看出，尽管其种植面积呈现波动下降趋势，但依靠单产水平的持续提升，有效抵消了面积缩减带来的不利影响，成为美国小麦总产量实现稳步增长的核心动力。

我国小麦生产发展历程与全球及美国小麦生产趋势具有高度相似性，同样呈现出面积波动趋稳、单产大幅提升、总产持续增长的特征（表 1-1）。在过去 50 多年的发展进程中，我国小麦产业实现了跨越式发展，单产水平实物质的飞跃。数据显示，1949 年我国小麦单产仅为 645 kg·ha⁻¹，而到 2024 年已提升至 5939.6 kg·ha⁻¹，单产累计增加 5294.6 kg·ha⁻¹，增幅高达 820.9%；同期全国小麦播种面积从 1949 年的 2152 万·ha⁻¹ 增加到 2024

年的 2359 万·ha⁻¹，面积增幅相对有限，单产提升在小麦总产增长中占据绝对主导地位（杨尚威，2011；黄季焜等，2025）。到目前来说，我国小麦种植面积已基本达到了峰值水平，小麦播种面积占全国粮食作物总播种面积的 20%左右，2025 年小麦总产量达到 1.401 亿 t，占全球小麦总产量的 17%，生产规模位居世界前列，仅次于美国（孙瑞阳等，2024；王森培等，2025）。从长期产量变化来看，我国小麦种植面积虽存在小幅缩减，但年度总产量始终保持稳步增加态势，小麦总产量从 2000 年的 9963.6 万 t 增加到 2025 年的 14007.2 万 t，增加了 4043.6 万 t，增幅 40.58%，充分印证我国小麦总产量的提升同样主要依赖于单产水平的不断提高。

基于上述生产发展趋势，深入开展小麦高产乃至超高产相关研究，对于进一步挖掘小麦产量潜力、提升我国小麦整体产量水平具有极为重要的现实意义。与此同时，随着我国人口总量的持续增长以及居民饮食消费结构的不断优化升级，市场对面粉及各类小麦制品的需求持续增加，对小麦总产量的刚性需求也在不断提升。但从我国农业资源禀赋与耕地利用现状来看，小麦种植面积已无大规模扩大空间，依靠扩大种植面积提升总产的路径并不现实。因此，在种植面积趋于稳定甚至小幅缩减的背景下，只有通过创新持续突破小麦单产瓶颈，不断提高单位面积产量水平，才能稳步实现小麦总产量提升，切实保障国家小麦供给安全与粮食安全。

1.3.2 小麦超高产的定义

小麦超高产作为小麦栽培与育种领域的核心研究范畴，其概念界定在不同研究时期、不同生态区域以及不同生产目标导向下存在一定的差异性与阶段性特征，尚未形成完全统一的标准化定义。但从作物产量形成的生理机制与物质运转分配规律来看，小麦超高产的本质核心可归结为具备高光能利用效率、光合产物积累充足、植株机体代谢消耗较低、物质转运效率优良且经济产量表现突出的小麦群体类型（任雅琴等，2011）。在小麦高产研究体系中，超级小麦与小麦超高产虽存在密切关联，但二者在概念内涵、研究重点与技术路径上具有明显的区分度。超级小麦的研究重心聚焦于作物遗传育种层面，主要强调通过种质资源创新、育种技术改良等手段，筛选与创制具备高产潜力与优良综合性状的小麦品种，其核心在于品种遗传潜力的挖掘与突破；而小麦超高产研究则更加注重生产实践层面的产量实现过程，要求在选用具备超高产遗传潜力小麦品种的基础上，结合不同产区的气候条件、土壤肥力状况、耕作制度以及生产管理水平和生产管理水平，制定科学适配、切实可行的超高产栽培技术方案，通过良种与良法的深度融合与高效配套，最大限度释放品种产量潜力，最终实现小麦产量的跨越式提升，更加凸显栽培调控技术在超高产形成过程中的重要支撑作用（杜永，2007）。

长期以来，国内外学者围绕小麦超高产的产量判定指标开展了大量系统性研究，众

多研究者基于研究区域生态差异、品种类型特性以及栽培管理模式的区别，相继提出了适用于不同条件的小麦超高产产量标准（杜永，2007；尹萍，2016），且该指标体系随着农业生产条件改善、品种更新换代及栽培技术进步呈现出持续动态提升的发展趋势。2000年前后，受当时小麦品种产量潜力、农田基础设施条件及栽培管理水平的综合制约，国内学术界普遍将产量达到 $9000 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ 及以上的小麦群体界定为超高产水平群体（于振文，2002；胡琳，2001），近年来，随着高产优质多抗小麦新品种的广泛推广、精准栽培技术的不断集成创新以及农田生产条件的持续优化升级，我国小麦整体生产水平得到显著提升，在此背景下，当前相关领域学者已普遍将 $12000 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ 及以上的产量水平作为小麦超高产的核心判定标准，这一指标也更加契合现阶段我国小麦高产创建与产量潜力挖掘的实际发展现状（郝丽娜等，2025；冯焯宏等，2023；冯焯宏等，2025）。

1.3.3 小麦产量构成及品质

在小麦超高产形成机制的研究进程中，不同时期的研究结论与技术导向呈现出明显的阶段性特征。在小麦超高产研究开展初期，相关研究普遍认为，构建充足且合理的群体穗数结构，是实现产量水平突破的核心前提与关键路径。众多学者通过对小麦超高产种质材料与高产田块群体结构的系统分析后指出，在单位面积穗数、穗粒数与千粒重这三大产量构成因素中，有效穗数对产量的提升发挥着主导性作用，其对产量的直接途径系数在三因素中居于首位，与籽粒产量之间表现为极显著的正相关关系，有效穗数的小幅波动即可引发产量水平的显著变化，是决定小麦产量高低的首要限制因子（郑建敏等，2012；丁锦峰，2013），由此可见，实现小麦超高产目标，首先必须保障田间群体具备适宜且充足的有效穗数，以此作为超高产群体构建的基础条件，在群体穗数达到超高产要求的前提下，进一步协同提升单穗穗粒数与籽粒千粒重，能够更加高效稳定地实现超高产目标（由瑞丽等，2009）。相关研究也明确提出，小麦产量水平由高产向超高产跨越的核心驱动力，主要来源于单位面积有效穗数的合理增加（王志芬，2001）。

但也存在与之不同的研究观点与结论，部分研究结果表明，在产量构成三因素中，对小麦产量起首要决定作用的并非有效穗数，而是单穗穗粒数，有效穗数仅居于次要地位。基于该研究结论，在超高产栽培技术调控路径上，应在保证田间群体获得适宜有效穗数的基础上，重点挖掘与发挥单株及单穗的穗粒数增产潜力，同时同步稳定提升籽粒千粒重，通过三因素的协同优化，最终实现小麦产量进一步突破（吕本国等，2007）。

近年来，随着我国农业现代化水平的持续提升，小麦栽培技术体系不断优化升级，农机农艺融合程度逐步加深，植物营养调控技术与植物生长调节剂应用技术快速发展，整体农业生产能力得到显著提升，小麦生产的群体调控能力与物质生产水平随之大幅改善。在此背景下，有效穗数已不再是制约小麦产量突破的核心限制因素（于振文，2024）。