植物营养与肥料学报 2012,18(1):18-26
Plant Nutrition and Fertilizer Science

# 氮肥运筹对四川丘陵区机播套作小麦群体质量及产量的影响

吴中伟,樊高琼*,王秀芳,郑 亭,邱康健,杨文钰*
(四川农业大学;农业部西南作物生理生态与耕作重点实验室,成都 611130)

**摘要:** 以四川大面积推广应用的中筋小麦品种川麦 42 为材料,采用两因素裂区试验设计,研究了不同施氮量和施氮方式对带式机播套作小麦(播幅为净作的 50%)群体质量和产量的影响。结果表明,套作小麦拔节后的叶面积指数(LAI)、干物质积累量均随施氮量的增加而提高,粒叶比则在中等偏高施氮量(N 180 kg/hm$^2$)时最大;底肥:拔节肥=7:3 的施氮方式有效地提高了花后 LAI、干物质日积累速率及粒叶比。对产量影响方面,有效穗和穗粒数随施氮量的增加而提高,成穗率和千粒重则在 N 180 kg/hm$^2$ 时最高,底肥:拔节肥=7:3 的施氮方式提高了成穗率。相关分析表明,孕穗后的 LAI、孕穗期的干物质积累以及拔节至孕穗期的干物质日积累速率与产量呈显著或极显著正相关。本试验条件下,在施氮量为 N 180 kg/hm$^2$、施氮方式为底肥:拔节肥=7:3 时,套作小麦产量构成因素协调好,产量最高,达 4800.4 kg/hm$^2$,与生产上大面积净作小麦产量相当。其群体质量指标为:基本苗 184.5 万株/hm$^2$,成穗数 225.3 万穗/hm$^2$,成穗率 72.8%,孕穗期 LAI 4.68,灌浆期 LAI 2.11,花后干物质积累量 3201.2 kg/hm$^2$,结实粒数 9652.5 万粒/hm$^2$,粒叶比 11.501 mg/cm$^2$。

**关键词:** 套作小麦;氮肥运筹;产量;群体质量
**中图分类号:** S512.1.06 **文献标识码:** A **文章编号:** 1008-505X(2012)01-0018-09

# Effects of nitrogen strategies on population quality and grain yield of mechanical sowing wheat under intercropping condition in Sichuan Hilly Areas

WU Zhong-wei, FAN Gao-qiong*, WANG Xiu-fang, ZHENG Ting, QIU Kang-jian, YANG Wen-yu*
(*Sichuan Agricultural University/Key Laboratory of Crop Physiology, Ecology, and Cultivation in Southwest, Ministry of Agriculture, Chengdu, Sichuan 611130, China*)

**Abstract:** A medium-gluten wheat cultivar, Chuanmai 42, was taken as an experiment material, the effects of nitrogen levels and application patterns on population quality and grain yield of strip-relay-intercropping wheat (half planted compared with sole-cropping wheat) were studied using the split block experiment design. The results show that leaf area index (LAI) of wheat after jointing, and the dry matter accumulation are increased with increase of nitrogen levels, while grain-leaf ratio is increased at first and then decreased, and the ratio reaches its largest value at the nitrogen rate of 180 kg/ha. Simultaneously, the LAI after flowering, the dry matter accumulation per day and grain-leaf ratio are all improved effectively at the dressing ratio of 7:3 (base fertilizer:jointing fertilizer). In aspect of yield, spike number and seeds per panicle are increased with increase of nitrogen levels, while the earbearing tiller percentage and 1000-grain weight are increased at first and then decreased, and reach their largest values at the nitrogen rate of 180 kg/ha. Simultaneously, the earbearing tiller percentage is improved effectively at the dressing ratio of 7:3 (base fertilizer:jointing fertilizer). The results of correlation analysis show that the LAI after booting, the dry matter accumulation at booting and the dry matter accumulation per day are significantly correlated

**收稿日期:** 2011-07-18 **接受日期:** 2011-11-07
**基金项目:** 四川省教育厅青年基金(08ZB032);四川主要粮食作物丰产高效技术集成研究与示范(2006BAD02A05);突破性作物新品种高产高效栽培技术研究(2006YZGG-28)项目资助。
**作者简介:** 吴中伟(1986—),女,湖南汨罗人,硕士研究生,主要从事套作小麦高产高效栽培理论及技术研究。E-mail: 369873887@163.com
* 通讯作者 E-mail: fangao20056@126.com; Tel: 028-86290972, E-mail: wenyu.yang@263.net

with grain yield. In the present study, the spike number, number of seeds per panicle and 1000-grain weight are optimal under the nitrogen amount of 180 kg/ha combined with dressing ratio of 7:3 (base fertilizer: jointing fertilizer), and the highest grain yield is 4800.4 kg/ha. The corresponding population indexes under this nitrogen strategy are 184.5 $\times 10^4$/ha of the seedling number, 225.3 $\times 10^4$/ha of the spike number, 72.8% of the spike rate, 4.68 of the highest LAI at booting, 2.11 of LAI at filling, 3201.2 kg/ha of post-anthesis dry matter accumulation, 9652.5 $\times 10^4$/ha of seeds number and 11.501 mg/cm$^2$ of grain-leaf ratio, respectively.

**Key words**: relay-strip-intercropping wheat; nitrogen strategy; grain yield; population quality

四川位于我国西南内陆腹地,是西南麦区主产省份,其小麦种植面积约占西南麦区的65%左右[1],四川小麦85%以上分布在丘陵旱地,以套作为主[2]。长期以来,小麦/棉花、小麦/玉米等模式并存,导致带宽多样,技术复杂且研究少,加之该区域生产条件差,生产技术水平低,小麦种植粗放,产量低而不稳,一般在3000 kg/hm$^2$左右[1],而生产成本平均为4335元/hm$^2$,且主要为播种环节的劳动成本[3-4],可见其种植效益十分低下。在市场经济这个杠杆下,套作小麦生产发展受到严峻的挑战,规范化、模式化、机械化是间套种植的发展方向,也是四川套作小麦生产发展的必由之路。

"小麦/玉米/大豆"是四川近年来提出的新型种植模式,具有高产、优质、高效等特点,2007、2008和2009年被列为全国农业部主推技术,该技术自2003年开始在四川省示范推广以来,在我国南方丘陵地区发展十分迅速,面积逐年增加,正在成为我国南方多熟制地区推进现代农业发展的一项新型实用技术[5]。该模式下,带宽2 m、小麦幅宽1 m(种植5行)基本能满足微型农机操作,同时又能兼顾套作小麦边际效应的发挥,小麦机播技术也得到初步发展[2,6-8],套作小麦生产也因此走上规范化道路,但仍存在很多研究方面的空白。前人研究表明,群体质量是小麦获得高产的重要因素,群体质量的好坏直接影响着小麦产量的高低[9]。氮素是影响小麦群体质量和产量的重要因素,合理的氮肥运筹是改善小麦群体质量的重要途径[10-12],前人有关氮肥运筹和群体质量方面的研究大都集中在北方净作小麦上,而南方尤其是丘陵地区套作小麦氮肥运筹方面的研究还鲜见报道。南北气候和生态条件差异大[13],小麦栽培技术迥异。因此,研究氮肥运筹对四川丘陵旱地机播套作小麦群体质量的影响,探索套作小麦高产超高产的群体质量指标,对发展我国南方小麦,提高小麦产量,缓解地区粮食压力和保障粮食安全具有重要的理论与现实意义。

## 1　材料与方法

### 1.1　材料与试验设计

供试材料为川麦42,是四川近几年主推品种,国家区试对照品种,由四川省农科院提供。

本试验于2009年11月～2010年5月在四川仁寿县珠嘉乡踏水村5社进行,该县为四川省第一人口大县,也是农业大县,位于盆地中南部,东经104°和北纬29.6°,丘陵地貌,海拔430 m,属亚热带季风湿润气候,年均气温17.4℃,年均降水量1100 mm,年均日照1196.6 h,无霜期312 d。供试土壤为紫色土,0—20 cm土层有机质含量13.5g/kg、全氮0.8 g/kg、碱解氮93.43 mg/kg、有效磷6.49 mg/kg、有效钾50.40 mg/kg、pH 7.75。试验地采用"麦/玉/豆"种植模式(俗称"双三0"),采用2 m带型,11月2日播种5行小麦,行距20 cm;留1 m空带于第二年3月播种2行玉米,行距50 cm;5月中旬小麦收后,再接茬播种2行大豆。

试验采用两因素裂区设计,以4个施氮水平为主区,施纯氮90、135、180、225 kg/hm$^2$分别用N1、N2、N3、N4表示;4种施氮方式为副区,分别为R1(底肥一道清)、R2(底肥:苗肥=7:3)、R3(底肥:拔节肥=7:3)和R4(底肥:苗肥:拔节肥:孕穗肥=5:1:2:2);并以不施肥(CK)为对照。3次重复,共计51个小区,小区面积12 m$^2$(长6 m,宽2 m)。播种前基施过磷酸钙(含$P_2O_5$ 17%)525 kg/hm$^2$、氯化钾(含$K_2O$ 52%)225 kg/hm$^2$。试验中氮、磷、钾用量均是按照小区面积计算,并将其施在小麦实际播种范围内(小区面积的1/2)。氮肥为尿素,底施的尿素于播种后兑清水均匀浇施,苗肥、拔节肥、孕穗肥兑清水均匀浇施。试验于2009年11月2日采用2BSF-4-5A型谷物播种机播种,密度为180万株/hm$^2$(含预留行),其他栽培措施同大田生产。

### 1.2　测定项目与方法

茎蘖动态的测定:于两叶一心期,在每个小区内选择长势均匀具有代表性的区域定点1m$^2$,调查

出苗情况及茎蘖动态，于播种后 15 d 确定基本苗，以后每隔 10 d 调查一次茎蘖数，直至抽穗开花，并于成熟期调查有效穗数。

叶面积指数(LAI)的测定：苗期、拔节期、孕穗期、开花期、灌浆期、成熟期分别取样，每小区分边行、次边行和中行(套作小麦，每带种植 5 行，2 个边行、2 个次边行、1 个中行)各取 8 株共 24 株，测量每片绿叶的长、宽，用长宽系数法计算叶面积(系数取值为 0.83[14])，并换算成叶面积指数(LAI)，LAI = 绿叶总面积/占地面积。

干物质积累量的测定：测定完叶面积后，将取样植株按叶、茎(鞘)、穗分开，于烘箱经 105℃杀青 1h，75℃烘干至恒重称重。

粒叶比：粒叶比即群体总结实粒数或粒重与孕穗期最大叶面积之比，本试验中采用成熟期子粒重与孕穗期最大叶面积之比来表示。

测产及考种：在收获前于每小区分边行、次边行、中行各取 8 株共 24 株，风干后进行室内考种，测定穗粒数、千粒重、穗容量等；每小区单打实收记产(产量按小区面积计算)。

### 1.3 数据处理

运用 Excel 和 DPS 7.05 软件进行数据处理和统计分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 群体生长发育动态

2.1.1 茎蘖动态 从图 1 可以看出，四川小麦茎蘖动态呈单峰曲线，分蘖持续期短，播种后 67d 左右达到最高苗数，施氮量和施氮方式对套作小麦茎蘖动态均有显著影响。前期分蘖发生速率和高峰苗数值随施氮量的增加而增大(图 1-A)，且各施氮量间的差异显著，N4 的最高茎蘖数分别比 N1、N2、N3 高 4.2%、4.0%、2.6%，比 CK 高 10.9%；而后期分蘖的消亡速率以 N3、N4 大于 N1、N2 及 CK，成穗数及成穗率以 N3 最高。图 1-B 显示，前期分蘖发生速率、最高茎蘖数、有效穗及成穗率均以 R3 处理最大，R4 次之，R1、R2 处理之间没有显著差异；而分蘖的消亡速率以 R3 处理最小，R1、R2、R4 处理之间没有显著差异。

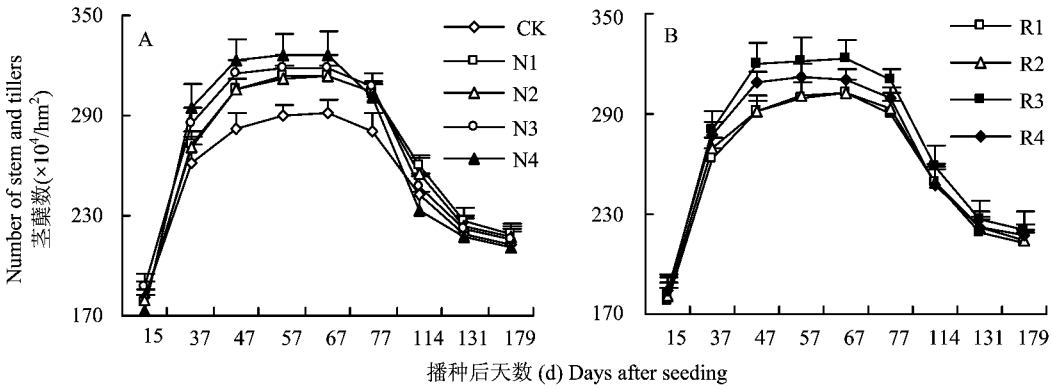


**图 1 不同氮肥运筹下的茎蘖动态**

**Fig.1 Tillering dynamics under different nitrogen management**

2.1.2 叶面积指数动态 图 2-A 显示，叶面积指数(LAI)在整个生育期均呈单峰曲线变化，且随施氮量的增加而增大。从拔节到孕穗，LAI 快速提高，并在孕穗期达到最大值，而 CK 提前到拔节期达到最大值。孕穗至开花期 LAI 快速下降，开花至灌浆期 LAI 缓慢下降，各施氮量间 LAI 差异达到显著水平，高氮处理生育后期仍保持相对较高的 LAI。

就不同施氮方式而言(图 2-B)，各生育时期 R2、R3、R4 处理的 LAI 均高于 R1，而 R2、R3 及 R4 之间没有显著差异。说明氮肥分次施用对提高 LAI、延长叶片功能期具有促进效应。

2.1.3 地上部干物质积累动态 从表 1 可以看出，植株干物质积累随施氮量的增加呈增加的趋势，且不同施氮量间干物质的差异随生育进程推进而逐渐加剧，开花期和成熟期差异达显著水平，表现为 N2、N3、N4 处理的干物质积累量显著高于 N1。同时，各施氮量间花后干物质积累量差异达显著或极显著水平，于 N4 水平下达最大。追施氮肥在一定程度上提高了植株干物质的积累，除开花期外各生育时期均以 R1 处理的干物质积累量最低，拔节期、开花期及成熟期均以 R3 的干物质积累量最高，且其干物质积累一直维持在较高水平，同时 R3 处理的花后

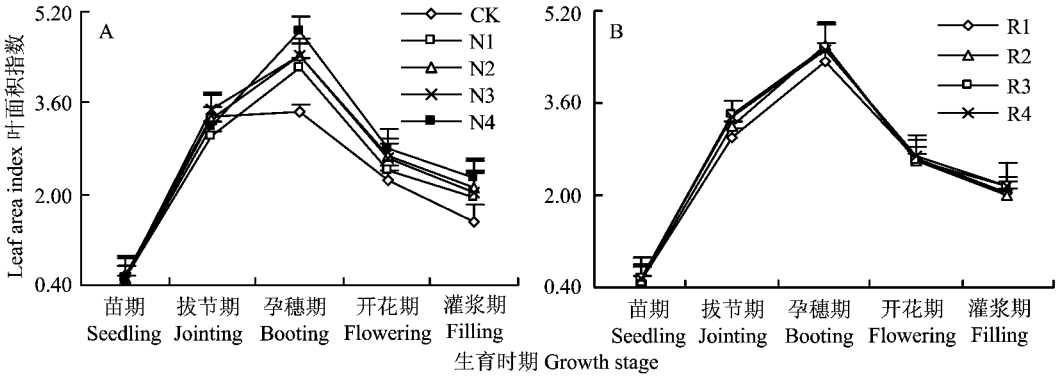


**图 2　不同氮肥运筹下的叶面积指数动态**

**Fig. 2　Leaf area index dynamics under different nitrogen management**

**表 1　不同氮肥运筹下小麦植株地上部分干物质积累量动态变化及花后干物质积累($g/m^2$)**

**Table 1　Dry matter accumulation dynamics of top-partial and post-anthesis dry matter accumulation of wheat in different nitrogen treatments**

| 处理 Treatment | 生育期 Growth Stage | | | | 花后干物质积累量 Dry matter accumulation of post-anthesis |
|---|---|---|---|---|---|
| | 拔节期 Jointing stage | 孕穗期 Booting stage | 开花期 Flowering stage | 成熟期 Maturity stage | |
| N1R1 | 160.2 aAB | 562.4 aA | 719.5 bcB | 985.2 ab | 265.7 aA |
| N1R2 | 144.3 bC | 555.4 aA | 734.2 bAB | 1018.1 a | 283.9 aA |
| N1R3 | 166.0 aA | 526.9 bAB | 713.4 cB | 999.7 ab | 286.3 aA |
| N1R4 | 152.9 abABC | 483.8 cB | 776.8 aA | 996.4 b | 219.6 bB |
| N2R1 | 141.9 bB | 544.9 a | 747.2 bB | 1009.3 b | 262.0 ab |
| N2R2 | 152.4 abAB | 509.1 b | 762.3 abAB | 1017.8 ab | 255.6 b |
| N2R3 | 165.9 aA | 526.8 ab | 798.6 aA | 1075.3 a | 276.7 ab |
| N2R4 | 169.3 aA | 533.2 ab | 739.4 bB | 1033.7 ab | 294.4 a |
| N3R1 | 145.8 b | 474.9 bB | 749.7 a | 1039.8 b | 290.1 abAB |
| N3R2 | 164.4 a | 557.9 aA | 781.6 a | 1051.4 ab | 269.9 bAB |
| N3R3 | 167.4 a | 550.0 aA | 776.3 a | 1096.4 a | 320.1 aA |
| N3R4 | 153.1 ab | 542.7 aA | 780.7 a | 1043.2 ab | 262.5 bB |
| N4R1 | 153.5 a | 560.3 a | 814.8 aA | 1064.5 a | 249.7 bB |
| N4R2 | 158.9 a | 577.7 a | 748.0 bB | 1068.0 a | 319.9 aA |
| N4R3 | 161.1 a | 547.3 a | 786.1 aAB | 1113.1 a | 327.0 aA |
| N4R4 | 167.4 a | 536.6 a | 752.8 abB | 1066.6 a | 313.8 aA |
| CK | 158.4 | 477.7 | 706.2 | 952.7 | 246.5 |
| N1 | 155.9 a | 532.1 a | 736.0 bB | 999.8 cB | 263.9 dC |
| N2 | 157.4 a | 528.5 a | 761.9 aAB | 1034.0 bAB | 272.2 cC |
| N3 | 157.7 a | 531.4 a | 772.1 aA | 1057.7 abA | 285.6 bB |
| N4 | 160.2 a | 555.4 a | 775.4 aA | 1078.0 aA | 302.6 aA |
| R1 | 150.4 b | 535.6 ab | 757.8 a | 1024.7 bB | 266.9 bB |
| R2 | 155.0 ab | 550.0 a | 756.5 a | 1038.8 bAB | 282.3 abAB |
| R3 | 165.1 a | 537.7 ab | 768.6 a | 1071.1 aA | 302.5 aA |
| R4 | 160.7 ab | 524.0 b | 762.4 a | 1035.0 bAB | 272.6 bAB |

注(Note)：同列数据后不同小、大写字母分别表示处理间差异达5%和1%显著水平 Values followed by different small and capital letters in the same column mean significant at the 5% and 1% levels, respectively.

干物质积累量最大,较 R1、R2、R4 分别增长 11.8%、6.7%和 9.9%。

施氮方式和施氮量存在互作效应(表 1),随着施氮量的增加,氮肥宜分次施用。就开花前干物质积累而言,低氮(N1)水平下 R1 的干物质积累总量较大,而中、高氮水平(N2、N3、N4)下除孕穗期 N2R1 处理的干物质积累量高于 N2R2、N2R3 和 N2R4 外,其余各施氮量下 R1 处理的干物质积累量均低于 R2、R3、R4,且各施氮量(除 N4 外)下 R1 与 R2、R3、R4 间差异达显著水平;而花后干物质积累量除 N2 外均以 R3 处理最大。进一步分析发现(表 2),R1 和 R2 处理在拔节至孕穗期间的干物质日积累速率较快,随生育进程推进 R1、R2 处理的日积累速率逐渐下降,而 R3、R4 处理的日积累速率逐渐增大,且开花至成熟期间干物质日积累速率均以 R3 最快,差异达显著水平。

2.1.4 粒叶比 从表 3 可以看出,粒叶比以 CK 的最大,这与其叶面积小有关系。适度增加施氮量有增加粒叶比的效果,但过高的施氮量下粒叶比下降,总体表现为 N3 处理的粒叶比分别较 N4、N2、N1 高 6.0%、7.5%、16.2%;R1 处理下的粒叶比最高,这也与其孕穗期 LAI 小有关;粒叶比最小的是 R2 处

**表 2 干物质日积累量动态变化 [g/(m$^2$·d)]**

**Table 2 Dynamics of dry matter accumulation per day of top-partial of wheat plant in different nitrogen treatments**

| 处理 Treatment | 拔节~孕穗期 Jointing to booting | 孕穗~开花期 Booting to flowering | 开花~成熟期 Flowering to maturity |
|---|---|---|---|
| N1R1 | 11.68 aA | 6.55 cC | 5.65 aA |
| N1R2 | 11.87 aA | 7.45 bBC | 6.04 aA |
| N1R3 | 10.24 bB | 7.77 bB | 6.09 aA |
| N1R4 | 9.60 cC | 12.21 aA | 4.67 bB |
| N2R1 | 11.34 aA | 8.43 bB | 5.57 b |
| N2R2 | 10.34 bB | 10.55 aA | 5.44 b |
| N2R3 | 10.46 bB | 11.33 aA | 5.89 ab |
| N2R4 | 10.53 bAB | 8.59 bB | 6.26 a |
| N3R1 | 9.57 bB | 11.45 aA | 6.17 ab |
| N3R2 | 11.82 aA | 9.32 bB | 5.74 ab |
| N3R3 | 11.51 aA | 9.43 bAB | 6.81 a |
| N3R4 | 11.32 aA | 9.92 abAB | 5.58 b |
| N4R1 | 11.76 abA | 10.61 aA | 5.31 b |
| N4R2 | 12.11 aA | 7.10 bB | 6.81 a |
| N4R3 | 11.17 bcAB | 9.95 aA | 6.96 a |
| N4R4 | 10.67cB | 9.01 aAB | 6.68 a |
| CK | 9.38 | 9.52 | 5.24 |
| N1 | 10.85 b | 8.49 b | 5.61 bB |
| N2 | 10.67 b | 9.72 a | 5.79 bAB |
| N3 | 11.05 a | 10.03 a | 6.08 abAB |
| N4 | 11.43 a | 9.17 ab | 6.44 aA |
| R1 | 11.09 a | 9.26 abAB | 5.68 b |
| R2 | 11.54 a | 8.60 bB | 6.01 ab |
| R3 | 10.84 ab | 9.62 aAB | 6.44 a |
| R4 | 10.53 b | 9.93 aA | 5.80 b |

注(Note):同列数据后不同小、大写字母分别表示处理间差异达5%和1%显著水平 Values followed by different small and capital letters in the same column mean significant at the 5% and 1% levels, respectively.

表 3　不同氮肥运筹下的粒叶比(mg/cm²)

Table 3　The grain-leaf ratio under different nitrogen managements

| 施氮量 Nitrogen rate | 施氮模式 Nitrogen management mode | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | R1 | R2 | R3 | R4 | 平均 Average |
| CK | | | | | 14.01 |
| N1 | 10.01 ab | 9.96 b | 10.46 a | 11.67 a | 10.53 b |
| N2 | 11.76 a | 10.95 a | 11.65 a | 11.13 a | 11.37 ab |
| N3 | 12.50 a | 11.98 a | 11.50 a | 12.93 a | 12.23 a |
| N4 | 12.95 a | 10.69 b | 12.04 ab | 10.45 b | 11.53 ab |
| 平均 Average | 11.80 a | 10.89 b | 11.41 ab | 11.55 ab | — |

注(Note):同列数据后不同小写字母分别表示处理间差异达 5% Values followed by different small letters in the same column mean significant at the 5% level.

理,说明苗期追肥不利于构建高粒叶比群体。

### 2.2　产量及产量构成因子

从表 4 可以看出,所有处理中 N3R3 产量最高,达 4800.4 kg/hm²,其次为 N3R4,为 4744.6 kg/hm²,两者差异不显著,CK 的产量最低,为 3762.0 kg/hm²,较 N3R3 减产 21.6%。而收获指数以 N3R4 最高,达 0.304,其次为 N3R3,为 0.292,CK 最低,为 0.263,说明适量施氮及氮肥后移有利于提高小麦收获指数。

方差分析得出,产量构成因子中穗粒数受氮肥运筹的影响显著,且穗粒数、有效穗及粒容量均随施氮量的增加而增加,在 N4 水平下达到最大值;而千粒重随施氮量的增加呈先增后减的趋势,在 N3 水平达最大值。R3、R4 处理下穗粒数、粒容量有增加的趋势,产量高于 R2、R1,且以 R3 处理产量最高。

施氮量和施氮方式对产量及产量构成因子存在互作效应。低氮(N1)水平下,氮肥后移(R4 处理)的有效穗减少,但穗粒数增加,R2、R3 处理的有效穗、穗粒数协调,产量高;中氮(N2、N3)水平下,R3 的有效穗较高,穗粒数、千粒重较协调,产量最高;而高氮(N4)水平下,穗粒数以 R4 处理最高,但各施氮方式间产量差异不显著。

### 2.3　套作小麦群体质量指标与产量及产量构成因子的关系

群体质量指标与产量间的相关性分析表明,孕穗期、开花期、灌浆期叶面积指数与产量均呈显著或极显著正相关($R^2$ 分别为 0.55*、0.65**、0.64**),拔节至孕穗的干物质日积累速率与产量呈显著正相关($R^2$ = 0.59*),孕穗期的干物质积累量与产量呈极显著正相关($R^2$ = 0.70**);而基本苗和三叶期的干物质积累与产量均呈不显著的负相关($R^2$ 分别为 -0.43 和 -0.38)。由此说明要获得较高产量,前期群体不宜过大,但要注重后期高效群体的构建,提高孕穗后的叶面积指数,保持花后较高的绿叶面积,促进孕穗后的干物质积累与转运。有效穗、穗粒数与产量呈显著正相关($R^2$ 分别为 0.50* 和 0.49*)。

## 3　讨论

### 3.1　氮肥运筹对机播套作小麦产量及产量构成的影响

前人研究表明,氮是影响小麦子粒产量的重要因素,但不同的生态环境、土壤肥力和品种的适宜施氮量不同。如黄严帅等[15]认为中筋小麦优质高产的适宜施氮量为 N 225 ~ 281 kg/hm²;郭天财等[16]则认为兰考矮早八在兼顾产量、品质、经济及生态效益的情况下的适宜氮肥用量为 N 202 ~ 239 kg/hm²;同延安等[17]认为陕西片区冬小麦高产的合理施氮量应控制在 N 105 ~ 210 kg/hm² 范围内。汤永禄[18]对四川成都平原稻茬麦进行的施氮量研究表明其适宜施氮量为 N 150 kg/hm² 左右。前人研究均是基于净作小麦,本试验在"双三 0"带式套作条件下,小麦播幅占净作的一半,最高产量为 N 180 kg /hm²、底肥:拔节肥 = 7:3 的处理,其次为 N 180 kg /hm²、底肥:苗肥:拔节肥:孕穗肥 = 5:1:2:2 的处理。低于该施氮量时,产量降低,但再加大施氮量的增产效果不显著。说明施氮量过多,并不一定能提高产量,反而降低了氮肥利用效率。同时,本文的研究结果表明,施氮量和施氮方式存在互作效应。施氮量为 N 90 kg/km² 时,以底肥:苗肥 = 7:3 的方式产量最高;施氮量为 N 135 kg/hm² 和 180 kg/hm² 时,以底肥:拔节肥 = 7:3 的方式产量最高;施氮量

表4 不同氮肥运筹下的产量及其构成因子

Table 4 The yield and yield components factor under different nitrogen management

| 处理 Treatment | 有效穗 Number of spikes ($\times 10^4/hm^2$) | 穗粒数 Seeds per panicle (No./panicle) | 千粒重 1000-grain weight (g) | 粒容量 Number of seeds ($\times 10^7/hm^2$) | 实际产量 Yield ($kg/hm^2$) | 收获指数 Harvest index |
|---|---|---|---|---|---|---|
| N1R1 | 215.3 ab | 38.1 bB | 52.8 a | 8.2 a | 4079.6 bcAB | 0.276 a |
| N1R2 | 221.3 a | 35.5 cC | 52.9 a | 7.9 a | 4286.5 aA | 0.281 a |
| N1R3 | 216.8 ab | 38.4 bB | 53.7 a | 8.3 a | 4173.5 abAB | 0.278 a |
| N1R4 | 200.5 b | 39.5 aA | 53.4 a | 8.1 a | 4025.2 cB | 0.269 b |
| N2R1 | 216.2 a | 40.6 aAB | 53.8 a | 8.8 abAB | 4375.9 bB | 0.289 a |
| N2R2 | 213.0 a | 40.7 aAB | 52.9 ab | 8.7 bAB | 4350.7 bB | 0.285 a |
| N2R3 | 224.2 a | 41.1 aA | 53.2 ab | 9.5 aA | 4675.1 aA | 0.290 a |
| N2R4 | 216.5 a | 39.9 bB | 52.6 b | 8.6 bB | 4470.7 abAB | 0.289 a |
| N3R1 | 200.3 b | 41.7 bAB | 53.8 ab | 8.4 bB | 4176.9 bB | 0.268 cB |
| N3R2 | 207.2 ab | 42.5 abA | 53.2 b | 8.8 bAB | 4304.8 bB | 0.273 cB |
| N3R3 | 225.3 a | 42.8 aA | 53.6 ab | 9.7 aA | 4800.4 aA | 0.292 bA |
| N3R4 | 216.0 ab | 40.8 cB | 54.7 a | 8.8 bAB | 4744.6 aA | 0.304 aA |
| N4R1 | 214.2 ab | 43.0 bAB | 54.0 a | 9.2 bAB | 4341.2 a | 0.272 ab |
| N4R2 | 226.7 a | 42.0 cB | 53.4 a | 9.5 abAB | 4448.1 a | 0.278 a |
| N4R3 | 206.8 b | 43.9abA | 53.1 a | 9.1bB | 4442.7 a | 0.266 b |
| N4R4 | 230.8 a | 44.1aA | 53.2 a | 10.2aA | 4458.8 a | 0.279 ab |
| CK | 208.5 | 36.9 | 53.2 | 7.7 | 3762.0 | 0.263 |
| N1 | 214.7 a | 37.9 dC | 53.2 a | 8.1 cB | 4141.2 bB | 0.276 b |
| N2 | 217.5 a | 40.6 cB | 53.1 a | 8.9 bA | 4468.1 aA | 0.288 a |
| N3 | 212.2 a | 41.9 bAB | 53.8 a | 8.9 bA | 4506.7 aA | 0.284 a |
| N4 | 219.6 a | 43.3 aA | 53.4 a | 9.5 aA | 4422.7 aA | 0.274 b |
| R1 | 211.5 a | 40.8 bB | 53.6 a | 8.6 b | 4243.4 cB | 0.276 b |
| R2 | 217.1 a | 40.2 cC | 53.1 a | 8.7 b | 4347.5 bcB | 0.279 ab |
| R3 | 218.3 a | 41.6 aA | 53.4 a | 9.1 a | 4522.9 aA | 0.282 a |
| R4 | 217.2 a | 41.1 bAB | 53.5 a | 8.9 ab | 4424.8 bAB | 0.285 a |

注(Note)：同列数据后不同小、大写字母分别表示处理间差异达5%和1%显著水平 Values followed by different small and capital letters in the same column mean significant at the 5% and 1% levels, respectively.

为N 225 $kg/hm^2$时，以底肥：苗肥：拔节肥：孕穗肥=5:1:2:2的方式产量最高。即随施氮量的增加，应采取“氮肥后移”，以拔节期施用对产量影响最为显著，这与陆成彬等[19]、武际等[20]、刘强等[21]的研究结果一致。

氮肥是促控小麦生长发育、协调产量构成因子的重要手段之一。前人研究结果表明，氮素营养不足会严重降低每穗粒数，随施氮量增加，产量构成因子中有效穗、穗粒数、千粒重均显著增加，但当施氮量超过一定水平后，这些指标即开始下降[22]。本试验条件下，施氮量N 180 $kg/hm^2$、施氮方式为底肥：拔节肥=7:3的处理的产量构成因素较协调，有效穗225.3万穗/$hm^2$、穗粒数42.8粒、千粒重53.6 g，产量最高。本试验中，氮肥运筹对有效穗和千粒重影响不显著(有效穗都在200万穗/$hm^2$以上，千粒重在53.0 g左右)，这可能与四川小麦“两短一长”的生长特点有关，即生育期短、分蘖期短、灌浆期长[8]，从而使得四川小麦分蘖少、成穗不足，一般每

公顷仅有 345 ～390 万穗,高产田 420 ～495 万穗,但灌浆期长达 45 ～50 d,千粒重较高[23-24]。而各处理间穗粒数差异显著,其变幅为 35.5 ～44.1 粒,高低相差 8.6 粒/穗,增加施氮量或氮肥后移均可提高穗粒数,增加粒容量。本试验正是通过氮肥运筹调节了穗粒数,从而提高了产量。说明四川小麦在穗粒数上提升空间较大,因此,生产上可以通过适当增加穗粒数来提高产量。

### 3.2　氮肥运筹对机播套作小麦群体质量的影响

良好的群体质量是提高作物产量的基础,合理的氮肥运筹是改善群体质量的关键途径。研究表明,叶面积是小麦光合产物的主要光合供给源,适宜的叶面积指数(LAI)是小麦高产群体质量的基础指标[25],因此 LAI 的合理控制是小麦高产栽培研究的重要内容之一。但前人就小麦适宜的 LAI 的研究多基于净作,如淮南麦区高产群体最适最大 LAI 为 5.5 ～6.5,淮北麦区晚熟品种为 7.0 ～7.5,株型紧凑型品种可达 8 以上[25]。本文研究结果表明,孕穗期 LAI 及花后 LAI 与产量呈显著或极显著正相关,拔节后的 LAI 随施氮量的增加而增加,氮素的分次施用也明显地提高了孕穗期的 LAI,这与陆增根等[10]的研究结果一致。在最高产量水平下,最大 LAI 高达 4.68,于孕穗期出现,且灌浆期仍保持较高的 LAI,约为 2.11,若换算成净作下的 LAI,则与张永平等[26]提出的小麦高产优化群体的适宜 LAI 在峰值期应达到 6 以上、在成熟期应保持在 3.0 以上的观点相符,但换算后的具体数值明显高于以往提出的最大最适 LAI。可见,净作小麦与套作小麦群体质量表征的差异。同时,本研究结果表明,最高产量的处理花前花后的干物质积累量均较高,且花后干物质日积累速率最快,开花期积累量达 7763.4 kg/hm$^2$,花后干物质积累量为 3201.2 kg/hm$^2$,而陆增根等[10]研究提出的弱筋小麦优质高产群体质量指标中花后干物质积累量为 5300 kg/hm$^2$,但该研究是基于江苏水稻土,生态条件与四川丘陵差异大。可见,制定利于构建小麦高产群体的栽培措施,应视小麦品种、生态条件以及种植制度而定。此外,粒叶比是源库协调的重要指标,前人研究[27]认为产量在 7500 kg/hm$^2$ 以上的群体,其适宜粒重(mg)/叶面积(cm$^2$)为 11.0 ～12.5 mg/cm$^2$,本试验在最高产量下的粒重(mg)/叶面积(cm$^2$)为 11.5 mg/cm$^2$,与前人研究结果相符。

## 4　结论

本研究从构建穗大粒多产量模式的角度,初步研究了氮肥运筹对四川丘陵机播套作小麦群体质量及产量形成的影响,试验结果表明四川丘陵旱地“麦/玉/豆”“双三 0”种植模式下小麦的适宜氮肥运筹为施氮量 N 180 kg/hm$^2$,施氮方式为底肥:拔节肥 =7:3。该组合下的群体质量指标为:基本苗 184.5 万株/hm$^2$、成穗数 225.3 万穗/hm$^2$、成穗率 72.8%、孕穗期 LAI 4.68、灌浆期 LAI 2.11、花后干物质积累量 3201.2 kg/hm$^2$、结实粒数 9652.5 万粒/hm$^2$、粒叶比 11.50 mg/cm$^2$。

**参 考 文 献:**


[1] 汤永禄,李朝苏,余秀芳,等. 西南旱地套作小麦带式机播技术组装与示范效果[J]. 耕作与栽培,2010,(4):60-61.
Tang Y L, Li C S, Yu X F *et al*. The sowing technique assembly and demonstration effect of strip-relay-intercropping wheat in dry land in Southwest region [J]. Till. Cult., 2010, (4): 60-61.

[2] 樊高琼,杨文钰,任万军,等. 不同带宽对套作小麦产量及边际效应的影响[J]. 四川农业大学学报,2009,27(2):133-136.
Fan G Q, Yang W Y, Ren W J *et al*. Effects of different bandwidth on the yield and border effect of relaying wheat [J]. J. Sichuan Agric. Univ., 2009, 27(2): 133-136.

[3] 蒋远胜,丁明忠,林方龙,等. 四川主要粮食作物生产成本收益分析[J]. 四川农业大学学报,2007,25(3):357-364.
Jiang Y S, Ding M Z, Lin F L *et al*. The cost-benefit analysis of the main grain crops [J]. J. Sichuan Agric. Univ., 2007, 25(3): 357-364.

[4] 郑亭,樊高琼,王秀芳,等. 耕作方式、播深及覆土对机播套作小麦麦苗素质的影响[J]. 农业工程学报,2010,27(5):164-168.
Zheng T, Fan G Q, Wang X F *et al*. Effect of tillage management, sowing depth and soil-covering on the seedlings quality of mechanical sowing wheat under intercropping condition [J]. Trans. Chin. Soc. Agric. Eng., 2011, 27(5): 164-168.

[5] 杨文钰. 旱地三熟“麦/玉/豆”新种植模式[J]. 四川农业科技,2010,(10):18-19.
Yang W Y. The new cropping pattern of wheat/maize/soybean tri-cropping in rainfed area [J]. J. Sichuan Agric. Sci. Tech., 2010, (10): 18-19.

[6] 陈雨海,李永庚,余松烈,等. 小麦边际效应与种植方式规范化的研究[J]. 麦类作物学报,2003,23(2):68-71.
Chen Y H, Li Y G, Yu S L *et al*. Border effect and standardization of cropping patterns of wheat [J]. J. Triticeae Crops, 2003, 23(2): 68-71.

[7] 樊高琼,杨文钰,李金刚,等. 丘陵旱地套作小麦机播技术[J]. 四川农业科技,2010,(10):20.
Fan G Q, Yang W Y, Li J G *et al*. The mechanical sowing technique for relay-strip-intercropping wheat in the hilly dryland [J].

J. Sichuan Agric. Sci. Tech., 2010, (10): 20.

[8] 樊高琼，杨文钰，李金刚，等. 丘陵旱地套作小麦动力机播技术优势[J]. 现代农业科技，2010，(20)：269.
Fan G Q, Yang W Y, Li J G *et al*. The advantage of mechanical sowing technique for relay-strip-intercropping wheat in the hilly dryland [J]. Mod. Agric. Sci. Tech., 2010, (20): 269.

[9] 马溶慧. 高产小麦群体质量指标及其与产量关系的研究[D]. 郑州：河南农业大学硕士学位论文，2005. 3.
Ma R H. Studies on population-quality indices and its relationships and yield of high yield wheat [D]. Zhengzhou: MS thesis, Henan Agricultural University, 2005. 3.

[10] 陆增根，戴廷波，姜东，等. 氮肥运筹对弱筋小麦群体指标与产量和品质形成的影响[J]. 作物学报，2007，33(4)：590-597.
Lu Z G, Dai T B, Jiang D *et al*. Effects of nitrogen strategies on population quality index and grain yield & quality in weak-gluten wheat [J]. Acta Agric. Sin., 2007, 33(4): 590-597.

[11] Di Paolo E, Rinaldi M. Yield response of corn to irrigation and nitrogen fertilization in a Mediterranean environment [J]. Field Crops Res., 2008, 105: 202-210.

[12] 叶优良，王桂良，朱云集，等. 施氮对高产小麦群体动态、产量和土壤氮素变化的影响[J]. 应用生态学报，2010，21(2)：351-358.
Ye Y L, Wang G L, Zhu Y J *et al*. Effects of nitrogen fertilization on population dynamics and yield of high-yielding wheat and on alteration of soil nitrogen [J]. Chin. J. Appl. Ecol., 2010, 21(2): 351-358.

[13] 傅春霞，聂毓琦. 南、北方冬小麦品种光合速率对环境条件的反应[J]. 作物学报，1990，16(4)：299-334.
Fu C X, Nie Y Q. Different responses of photosynthetic rate of wheat varieties from south and north China to enviromental conditions [J]. Acta Agric. Sin., 1990, 16(4): 299-334.

[14] 郭改玲，刘克礼，高聚林，等. 氮素施用方式对春小麦花后叶片衰老与产量的影响[J]. 麦类作物学报，2006，26(5)：126-129.
Guo G L, Liu K L, Gao J L *et al*. Effect of nitrogen application on flag leaf senescence and yield of spring wheat [J]. J. Triticeae Crops, 2006, 26(5): 126-129.

[15] 黄严帅，张洪程，许轲，等. 氮肥用量对中筋小麦杨麦11号产量和群体质量的影响[J]. 中国农学通报，2006，22(10)：238-241.
Huang Y S, Zhang H C, Xu K *et al*. Effects of the quantities of nitrogenous fertilizer on the yield and population quality of the mid-gluten wheat Yangmai 11 [J]. Chin. Agric. Sci. Bull., 2006, 22(10): 238-241.

[16] 郭天财，宋晓，冯伟，等. 高产麦田氮素利用、氮平衡及适宜施氮量[J]. 作物学报，2008，34(5)：886-892.
Guo T C, Song X, Feng W *et al*. Utilization and balance of nitrogen and proper application amount of nitrogen fertilizer in winter in high-yield regions [J]. Acta Agric. Sin., 2008, 34(5): 886-892.

[17] 同延安，赵营，赵护兵，等. 施氮量对冬小麦氮素吸收、转运及产量的影响[J]. 植物营养与肥料学报，2007，13(1)：64-69.
Tong Y A, Zhao Y, Zhao H B *et al*. Effect of N rates on N uptake, transformation and the yield of minter wheat [J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2007, 13(1): 64-69.

[18] 农业部小麦专家指导组. 现代小麦生产技术[M]. 北京：中国农业出版社，2007. 92.
Wheat Expert Steering Group of the Ministry of Agriculture. The production technology for modern wheat [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2007. 92.

[19] 陆成彬，张伯桥，高德荣，等. 施氮量与追肥时期对弱筋小麦杨麦9号产量和品质的影响[J]. 扬州大学学报(农业与生命科版)，2006，27(3)：62-64，75.
Lu C B, Zhang B Q, Gao D R *et al*. Effect of nitrogen application rate and topdressing stage on grain yield and quality of weak-gluten wheat [J]. J. Yangzhou Univ. (Agric. & Life Sci.), 2006, 27(3): 62-64, 75.

[20] 武际，郭熙盛，王允青. 氮肥追施时期与施用方法对小麦产量的影响[J]. 安徽农业科学，2006，34(12)：2800，2815.
Wu J, Guo X S, Wang Y Q. Effects of topdressing stage and application methods of nitrogen on wheat yield [J]. J. Anhui Agric. Sci., 2006, 34(12): 2800, 2815.

[21] 刘强，葛鑫，于松溪，等. 氮肥运筹对强筋小麦济南17群体结构和产量的影响[J]. 耕作与栽培，2003，(5)：7-9，12.
Liu Q, Ge X, Yu S X *et al*. The effect of nitrogen application on the population structure and yield of Jinan17 which is strong gluten wheat [J]. Till. Cult., 2003, (5): 7-9, 12.

[22] 王瑞军，李世清，伍维模，等. 半湿润区农田生态系统氮肥对不同基因型冬小麦产量构成的影响[J]. 中国生态农业学报，2006，14(4)：89-93.
Effects of nitrogen fertilizer on yield components of different genotypic winter wheat in sub-humid farmland ecologic system [J]. Chin. J. Eco-Agric., 2006, 14(4): 89-93.

[23] 施晓娟. 北纬33度小麦大面积增产关键技术取得突破[EB/OL]. 北京：中国经济网，2010-6-9.
Shi X J. The key technologies on high yield of wheat in regions of 33 degrees north latitude [EB/OL]. Beijing: China Economy Net, 2010-6-9.

[24] 汤永禄，杨武云，黄钢，等. 四川盆地两个不同穗型小麦品种的产量潜力研究[J]. 西南农业学报，2006，19(2)：339-341.
Tang Y L, Yang W Y, Huang G *et al*. Study on the yield potential of two wheat cultivars with different spike type in Sichuan basin [J]. Southwest China J. Agric. Sci., 2006, 19(2): 339-341.

[25] 凌启鸿. 作物群体质量[M]. 上海：上海科学技术出版社，2000. 223.
Ling Q H. Crop population quality [M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 2000. 223.

[26] 张永平，刘克礼，高聚林，等. 春小麦优化栽培群体形态指标及其动态变化[J]. 麦类作物学报，2003，23(3)：75-78.
Zhang Y P, Liu K L, Gao J L *et al*. Population shape indexs and their dynamic change of spring wheat under optimized cultivation [J]. J. Triticeae Crops, 2003, 23(3): 75-78.

[27] 杨文钰，屠乃美. 作物栽培学各论[M]. 北京：中国农业出版社，2003. 80.
Yang W Y, Tu N M. Individual introduction to crop production [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2003. 80.